

# Estudo Geoquímico de Zircão de Granitos do NW Portugêês

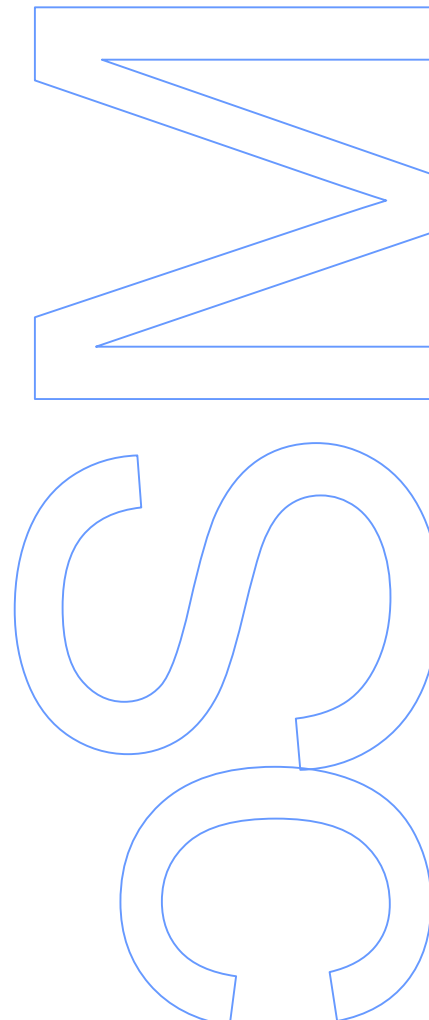
Joana Rita Bogo Abreu

Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2012

**Orientador**

Helena Cristina Brites Martins, Professora Auxiliar, FCUP



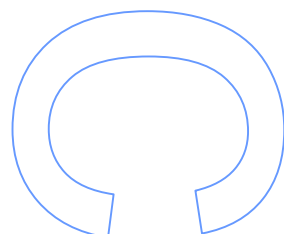
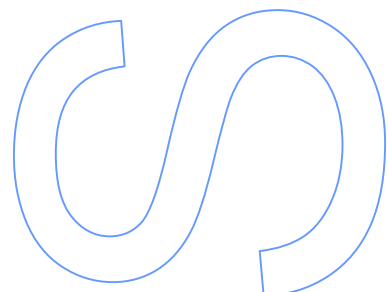
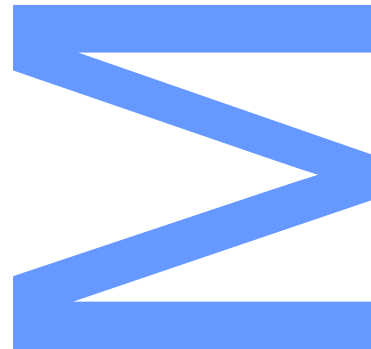




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_







## Agradecimentos

*Em primeiro lugar quero agradecer á Doutora Helena Brites que foi a minha mentora neste trabalho. Obrigado por acreditar que era possível levar este tema avante e acima de tudo obrigado pelas conversas e pela amizade. Vai ser sempre a minha “mãe” dentro da faculdade. Esta tese também é sua!*

*À Doutora Alexandra Guedes que se disponibilizou para me ajudar no durante e pós Microsonda Raman, um muito obrigado.*

*À Engenheira Fernanda Guimarães que me acompanhou no LNEG, agradeço o empenho com que orientou as secções na microsonda electrónica, que nem sempre foram fáceis.*

*À Dr. Daniela que me acompanhou no CEMUP, obrigado.*

*Ao Tito da UTAI pelas maravilhosas superfícies polidas, sem as quais tudo seria bem mais difícil.*

*Quero deixar um agradecimento aos meus queridos colegas de curso. Em especial à Rita Lamas, a amizade não tem preço, obrigado por estares sempre desse lado para me ouvir. Filipa Pinheiro e Sheila Paz, a distância não importa, obrigado pelos últimos anos.*

*Aos meus pais, irmã e sobrinha pelas palavras de apoio, carinho e compreensão nos momentos mais difíceis.*

*A ti Pedro, obrigado pela compreensão e encorajamento permanente para levar este trabalho até ao fim.*

*A todos os funcionários do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território e da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto que se cruzaram comigo e que sempre estiveram dispostos a ajudar, obrigado.*

## Resumo

Um grupo de granitos variscos peraluminosos foi selecionado para realizar um estudo da composição de zircão. Os granitos selecionados foram: o maciço pós-D<sub>3</sub> de Vila Pouca de Aguiar, os granitos pós-D<sub>3</sub> de Lavadores, Madalena e Castelo do Queijo e o maciço tardi-D<sub>3</sub> de Vieira do Minho.

As análises de zircão foram realizadas usando uma microsonda eletrónica FXA JEOL - 8500F com uma voltagem de aceleração de 20 kV, corrente de 20 nA e um diâmetro do feixe de 1µm. Os zircões ocorrem como cristais euédricos a subédricos e exibem zonamentos magmáticos oscilatórios. Estes cristais mostram geralmente um núcleo interior nebulítico e bandas oscilatórios na zona exterior, ocorrendo no interior do zircão algumas inclusões de outros minerais, inclusões estas que são de biotite, apatite e de melt. O zonamento interno é marcado pelas principais variações de concentração de Hf, Y, U e Th. Estes elementos são, portanto, considerados os principais indicadores do grau de evolução.

Os cristais de zircão apresentam uma relação Zr / Hf que varia entre 29 a 56, sem diferenças significativas entre os diferentes granitos. Estes valores estão na mesma gama de outros granitos peraluminosos e estão em conformidade com uma assinatura crustal do zircão. O valor em Zr/Hf nos zircões dos granitos estudados sobrepõe-se aos potenciais protólitos propostos para a génese destes granitos peraluminosos, sobretudo para os maciços de Vila Pouca de Aguiar e de Vieira do Minho, ou seja, fontes crustais a diferentes níveis.

## Palavras-Chave

Zircão, geoquímica, estrutura interna, granitos.

## Abstract

A group of peraluminous Variscan plutons were selected from the study of zircon composition. The selected plutons are: the post-D<sub>3</sub> Vila Pouca de Aguiar and the Lavadores plutons and the late-D<sub>3</sub> Vieira do Minho pluton.

Analyses of zircon were carried out at LNEG using a JEOL FXA – 8500F with an acceleration voltage of 20 kV, a probe current of 20 nA and a beam diameter of 1µm. The zircons occur as euhedral to subhedral crystals and exhibit finely concentric oscillatory zoning in BSE imaging. These crystals commonly show an unzoned inner core and outer oscillatory bands and contain inclusions of other minerals, namely biotite, apatite and melt inclusions. Internal zoning is mainly related to variations of Hf, Y, U and Th concentrations. These elements are therefore considered the main indicators of degree of evolution.

The zircon crystals have Zr/Hf ratio varying between 29 to 56, with no significant differences between the different granites. These values are in the same range of other peraluminous granites and are in accordance with a crustal signature of zircon. The range of Zr/Hf values in zircon crystals of the granite plutons studied, specially the Vila Pouca de Aguiar and the Vieira do Minho, overlaps with that of the potential protholits proposed in the genesis of these peraluminous granites, namely meta-igneous crustal sources from different levels.

## Keywords

Zircon, geochemistry, internal structure, granites.

## **Índice**

Resumo	V
Abstract	VI
Índice de Figuras	XI
Índice de Tabelas	XV

### **Introdução - Capítulo 1**

1.Introdução	3
2.Objetivos	5

### **Enquadramento Geológico - Capítulo 2**

2.1. Generalidades	9
2.2. Enquadramento Geográfico	10
2.3. Enquadramento Geológico e Tectónico-Estrutura	12
2.3.1. Enquadramento na Cadeia Varisca	12
2.3.2. Granitos associados á Zona de Cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT)	13
2.3.3. Granitos associados à Zona de Cisalhamento Vigo- Régua (ZCVR) (Maciço de Vieira do Minho)	16
2.3.4. Granitos associado à Zona de Falha Penacova-Régua-Verin (ZFPRV) (Maciço de Vila Pouca de Aguiar)	17

### **Síntese Bibliográfica – Capítulo 3**

3.1.Petrografia	23
3.2.Geoquímica de rocha total	24
3.3.Geoquímica isotópica e geocronologia	26
3.4.Tipologia de Zircões segundo Pupin	27
3.4.1.Princípio do método	27
3.4.2.Granitos associados à ZCPT	29
3.4.3.Granitos associados à ZCVR	30
3.4.4.Granitos associados à ZFPRV	31

### **Metodologias – Capítulo 4**

4.1.Obtenção de Concentrados de Zircão	35
4.2.Grau de Cristalinidade em zircões	36
4.3.Estruturas internas e análises químicas em zircões	39
4.3.1.Microscópio Eletrónico de Varrimento (MEV)	39
4.3.2. Microsonda Eletrónica	40

### **Geoquímica de Zircão (Resultados) - Capítulo 5**

5.1.Grau de cristalinidade de Zircões	45
5.1.1.Granitos associados à ZCPT	46
5.1.1.1.Granito de Castelo do Queijo	46
5.1.1.2.Granito de Lavadores	47
5.1.1.3.Granito da Madalena	48

5.1.2.Granitos associados à ZCVR	49
5.1.2.1.Granito de Vieira do Minho	49
5.1.2.2.Granito de Moreira de Rei	50
5.1.3.Granito associados à ZFPR	51
5.1.3.1.Granito de Vila Pouca de Aguiar	51
5.1.3.2.Granito de Pedras Salgadas	52
5.2. Estrutura Interna	53
Estampa I: Zircões do Granito de Castelo do Queijo	55
Estampa II: Zircões do Granito de Lavadores	63
Estampa III: Zircões do Granito de Madalena	79
Estampa IV: Zircões do Granito de Vieira do Minho	87
Estampa V: Zircões do Granito de Moreira de Rei	97
Estampa VI: Zircões do Granito de Vila Pouca de Aguiar	107
Estampa VII: Zircões do Granito de Pedras Salgadas	115
5.3.Geoquímica	123
5.3.1.Composição química dos zircões	123
5.3.1.1. Granitos associados à ZCPT	123
5.3.1.2.Granitos associados à ZCVR	126
5.3.1.3.Granitos associados à ZFPRV	128
5.3.2.Estudo Geoquímico de grãos de Zircão	131
5.3.2.1.Estudo Geoquímico de grãos de Zircão	133
5.3.3. Relação Zr/Hf	147

## **Considerações finais – Capítulo 6**

6.1.Grau de cristalinidade de zircões	153
6.2.Estrutura interna de zircões	153
6.3.Geoquímica	153
6.4.Conclusão	155
Referências bibliográficas	157
Anexos	165



# Índice de Figuras

## Enquadramento Geológico – Capítulo 2

1 - Imagem retirada através do Google Earth. Zona Norte Portuguesa com identificação da localização dos granitos estudados.	10
2 - Mapa do Norte de Portugal, onde estão representados os granitos Variscos e a localização dos granitos estudados.	14
3 - Mapa geológico simplificado da região do Porto com localização das amostras.	15
4 - Mapa geológico simplificado do maciço de Vieira do Minho.	17
5 - Mapa ilustrativo do Maciço de Vila Pouca de Aguiar.	18

## Síntese Bibliográfica – Capítulo 3

5 – Grelha tipológica que mostra os diferentes tipos e subtipos fundamentais da classificação de Pupin & Turco (1972).	28
6 - Diagrama de distribuição tipológica de população de zircão do Granito de Castelo do Queijo (CQ1), Lavadores (Lav2) e Madalena (Ma5).	29
7 - Diagrama de distribuição tipológica de população de zircão do Granito de Vieira do Minho (6C-30) e Moreira de Rei (6C-29).	30
8 - Diagrama de distribuição tipológica de população de zircão do Granito de Vila Pouca de Aguiar (74-20) e Pedras Salgadas (60-18).	31

## Metodologias – Capítulo 4

9 - Esquema simplificado do processo de obtenção de concentrados de zircão.	36
---	----

## **Geoquímica de zircão – Capítulo 5**

10 - Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectro.	46
11 - Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectro.	46
12 - Espectro Raman da amostra de Castelo do Queijo (CQ1).	46
13 - Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectro.	47
14 - Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectro.	47
15 - Espectro Raman da amostra de Lavadores (Lav5 e Lav 99).	47
16 - Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectro.	48
17 - Imagem do zircão que apresenta a linha Azul no espectro.	48
18 - Espectro Raman da amostra de Madalena (Lav3).	48
19 - Imagem do zircão que apresenta a linha azul-escura no espectro.	49
20 - Imagem do zircão que apresenta a linha azul-turquesa no espectro.	49
21 - Espectro Raman da amostra de Vieira do Minho (60-30).	49
22 - Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectro.	50
23 - Imagem do zircão que apresenta a linha rosa no espectro.	50
24 - Espectro Raman da amostra de Moreira de Rei (60-29).	50
25 - Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectro.	51
26 - Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectro .	51
27 - Espectro Raman da amostra de Vila Pouca de Aguiar (60-12).	51
28 - Imagem do zircão que apresenta a linha rosa no espectro.	52
29 - Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectro.	52
30 - Espectro Raman da amostra de Pedras Salgadas (60-18).	52
31 - Diagramas de variação de teores de $\text{HfO}_2$ , $\text{Y}_2\text{O}_3$ , $\text{ThO}_2$ , $\text{UO}_2$ para o granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena.	124

32 - Diagramas de variação de teores de $Y_2O_3$ em função do $HfO_2$ para o granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena.	125
33 - Diagramas de variação de teores de $ThO_2$ em função do $UO_2$ para o granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena.	126
34 - Diagramas de variação de teores de $HfO_2$ , $Y_2O_3$ , $ThO_2$ , $UO_2$ para o granito de Vieira do Minho e granito Moreira de Rei.	127
35 - Diagramas de variação de teores de $Y_2O_3$ em função do $HfO_2$ no granito de Vieira do Minho e granito Moreira de Rei.	127
36 - Diagramas de variação de teores de $ThO_2$ em função do $UO_2$ no granito de Vieira do Minho e granito Moreira de Rei.	128
37 - Diagramas de variação de teores de $HfO_2$ , $Y_2O_3$ , $ThO_2$ , $UO_2$ para o Granito de Vila Pouca de Aguiar e granito de Pedras Salgadas.	129
38 - Diagramas de variação de teores de $Y_2O_3$ em função do $HfO_2$ para o granito de Vila Pouca de Aguiar e granito Pedras Salgadas.	129
39 - Diagramas de variação de teores de $ThO_2$ em função do $UO_2$ para o granito de Vila Pouca de Aguiar e granito de Pedras Salgadas.	130
40 - Seleção de zircões dos granitos de Castelo do Queijo e Lavadores.	135
41 - Seleção de zircão do granito de Lavadores.	137
42 - Seleção de zircões dos granitos de Madalena e Vieira do Minho.	139
43 - Seleção de zircões dos granitos de Vieira do Minho e Moreira de Rei.	141
44 - Seleção de zircões dos granitos de Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas.	143
45 - Seleção de zircões do granito de Pedras Salgadas.	145
46 - Quadro comparativo dos teores $Zr/Hf$ em zircão de diferentes tipos genéticos (modificado Pupin 2000).	147
47 - Diagramas de variação dos teores $Zr/Hf$ nos zircões dos granitos de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena.	148
48 - Diagramas de variação dos teores $Zr/Hf$ nos zircões dos granitos de Vieira do Minho e Moreira de Rei.	149

49 - Diagramas de variação dos teores Zr/Hf nos zircões dos granitos Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas.	149
--	-----

### **Considerações finais – Capítulo 6**

50 - Variação da composição de zircão de granitos peraluminosos do Norte de Portugal.	154
51 - Relação Zr/Hf nos zircões dos diferentes granitos estudados.	155

## Índice de tabelas

### Síntese Bibliográfica – Capítulo 3

1 - Síntese bibliográfica das características petrográficas dos granitos em estudo.	23
2 - Análises químicas de elementos maiores (%) e elementos menores (ppm) e os valores de A/CNK. Valores máximos e mínimos para cada elemento.	24
3 - Análises químicas de elementos maiores (%) e elementos menores (ppm) e os valores de A/CNK. Valores máximos e mínimos para cada elemento.	25
4 - Síntese bibliográfica dos dados geocronológicos e parâmetros isotópicos dos granitos em estudo.	26



# ***Introdução***

Capítulo 1





## 1.Introdução

O zircão é um nesossilicato de fórmula químico-estrutural teórica  $\text{ZrSiO}_4$ , sendo o Zr o constituinte estrutural mais abundante, para além destes elementos podem estar presentes pequenas quantidades de Hf, Y, Th, U e terras raras pesadas. Este mineral cristaliza no sistema tetragonal verificando-se que os cristais mais comuns são morfológicamente constituídos por duas formas cristalinas prismáticas {100} e {110} e duas formas piramidais principais {101} e {211}.

De acordo com vários autores o desenvolvimento das diferentes formas piramidais e prismáticas está relacionado com a temperatura de cristalização e índice de alcalinidade (Pupin, 1980), supersaturação em zircónio (Benisek & Finger, 1993) e a presença de determinados elementos químicos como o U (Th) e elementos de terras raras (Vavra, 1990). Morfológicamente apresenta geralmente tipologias distintas consoante o tamanho dos prismas e das pirâmides. O zircão pode apresentar uma estrutura interna zonada, inclusões de outros minerais ou de melt e não raramente evidencia aspetos de metamitização resultantes da destruição da rede cristalina do mineral devido à radiação (Ewing et al., 2003).

O zircão sendo um mineral acessório relativamente abundante em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares têm sido alvo de numerosos estudos (Pupin 1976, 1980; Watson & Harrison, 1983; Vavra, 1990; Heaman & Parrish, 1991; Benisek & Finger, 1993; Vavra et al., 1996; Hoskin & Schaltegger, 2003; Kinny & Mass, 2003; Parrish & Nobel, 2003). Com efeito este mineral comporta-se como uma fonte de informações preciosa em vários domínios da Geologia (evolução e reciclagem crustal, fontes magmáticas e geocronologia). Estamos portanto perante um mineral excecional dado a multiplicidade de informações que é susceptível de transmitir.

A importância deste mineral acessório está na sua tendência para incorporar elementos traço, bem como a sua composição química e durabilidade física e a sua notável resistência a altas temperaturas (Cherniak et al., 1997a, 1997b; Watson & Cherniak, 1997). Embora a abundância de zircão seja baixa, pode fortemente afetar o comportamento de muitos elementos traço durante o processo de cristalização do magma, sendo um mineral importante para estudos petrológicos (Nagasawa, 1970; Watson, 1979; Murali et al., 1983; Hoskin et al., 2000; Belousova et al., 2002)

Além do seu papel dominante no controle de zircónio e distribuição de háfnio, o zircão pode ter uma influência significativa sobre o comportamento de alguns

elementos de terras raras, Y, Th, U, Nb e Ta. Os seus grandes raios iónicos e a alta carga tornam esses elementos incompatíveis, em muitos minerais constituintes das rochas silicatadas, o que faz com que geralmente se concentrem no melt residual sendo incorporados durante a cristalização do zircão, visto que este apresenta uma estrutura preferencial para incorporar varias proporções de elementos de terras raras. A abundância e os raios desses elementos traço são potencialmente úteis na distinção de zircões de diferentes fontes (Chyi, 1986; Heaman et al., 1990; Belousova, 2002).

O háfnio é quase idêntico em tamanho ao zircónio, os dois comportam-se de forma quase idêntica. O zircão, portanto, é essencialmente uma solução sólida de zircónio-háfnio, com zircões contendo entre 1 e 2% em peso  $\text{HfO}_2$  (Heaman et al., 1990; Belousova et al., 2002; Hoskin & Schaltegger, 2003; Claiborne et al., 2006; Bea et al., 2006). Sendo o zircão o principal reservatório de Hf na crosta, o crescimento de zircão controla a composição Hf de qualquer melt. Com o crescimento do zircão, as concentrações de Zr e Hf no magma irão diminuir. No entanto, este crescimento preferencialmente incorpora mais Zr do que Hf, promovendo assim uma diminuição da razão Zr/Hf dos fundidos residuais. Deste modo, o fraccionamento crescente do magma leva a um aumento da concentração de Hf nos cristais de zircão (Claiborne et al., 2006; Claiborne, 2010).

---

## 2. Objetivos

O presente trabalho representa o culminar de um ciclo de estudos. Este trabalho iniciou-se na fase de licenciatura onde foi abordado o tema de “Estudo de Minerais Pesados” graças a uma bolsa de introdução à investigação financiada pela FCT. Durante um ano, separaram-se várias amostras até se obterem os concentrados de zircão. No final da licenciatura o tema foi continuado e como tema de estágio realizou-se a “Caracterização da Estrutura Interna de Zircões ao MEV”, onde se fizeram superfícies polidas com os concentrados de zircões inicialmente obtidos e realizou-se um estudo detalhado das estruturas internas dos grãos.

Neste último ciclo de trabalho, e aproveitando todo o trabalho realizado anteriormente, procedeu-se ao estudo geoquímico dos zircões. O objetivo é através das análises químicas dos zonamentos dos vários grãos minerais retirar conclusões sobre as variações estruturais internas e as variações químicas dos cristais de zircão, podendo fazer-se uma comparação entre os vários tipos de maciços graníticos em estudo. Pretende-se, ainda, a partir das análises químicas obtidas tentar estabelecer uma relação com os potenciais protólitos sugeridos para génese destes granitos.



# ***Enquadramento Geológico***

Capítulo 2



## 2.1. Generalidades

A Zona Centro Ibérica (ZCI), nomeadamente na zona NW Portuguesa, é marcada pela existência de maciços graníticos de grandes dimensões. Estes instalaram-se posteriormente ao espessamento crustal que se fez sentir na cadeia varisca da Europa Ocidental. Entre os 340 e 270 Ma desenvolveu-se um período de atividade magmática intensa, que gerou a instalação de várias tipologias de granitos distintas que são observadas ao longo do território NW português. Estes granitóides de colisão pós-espessamento instalaram-se ao longo de grandes desligamentos crustais, que por sua vez controlaram a ascensão e injeção destes magmas em níveis mais superficiais da crosta (Martins, 1998)

Com base em dados geológicos e idades de instalação U-Pb referenciadas à terceira fase de deformação varisca,  $D_3$ , estes granitóides sin-colisionais podem distribuir-se em dois grupos (Dias et al., 1998; Dias et al., 2010; Ferreira et al., 1987): sin-tectónicos (sin- tardi e tardi a pós- $D_3$ ; 320-300 Ma) e pós-tectónicos (pós- $D_3$ ; 299-290 Ma)

Os maciços granitos sujeitos ao estudo geoquímico de zircões nesta dissertação pertencem aos dois grupos atrás referidos e distribuem-se paralelamente a zonas de cisalhamento dúctil (maciço do Castelo do Queijo, Lavadores, Madalena e Vieira do Minho) ou à fracturação tardi-varisca (maciço de Vila Pouca de Aguiar).

## 2.2. Enquadramento Geográfico



Fig.1. Imagem retirada através do Google Earth. Zona Norte Portuguesa com identificação da localização dos granitos estudados

O maciço granítico de Castelo do Queijo localiza-se no distrito do Porto e está representado na folha 9-C da Carta Geológica de Portugal (Costa & Teixeira, 1957). Faz parte da estreita orla litoral, situada na zona ocidental da cidade do Porto, que vai desde o Forte de São Francisco Xavier (Castelo do Queijo), a Norte, até à foz do rio Douro, a Sul. Este granito ocorre numa pequena “mancha” na praia do Castelo do Queijo.

O granito de Lavadores e Madalena localizam-se no distrito do Porto. Os afloramentos do granito Lavadores encontram-se a cerca de 3 km a Sul de Porto. A sudeste, o granito Lavadores apresenta um contacto gradual com o granito Madalena que consiste numa faixa estreita ao longo da costa em Vila Nova de Gaia. A ascensão magmática foi controlada por uma das estruturas de cisalhamento da Orogenia Varisca, a zona de cisalhamento Porto-Tomar (Martins et al., 2011). O granito de lavadores está abrangido na folha 9-C da Carta Geológica de Portugal e o granito de Madalena está abrangido pelas folhas 9-C e 13-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000 (Costa & Teixeira, 1957; Teixeira & Perdigão, 1962).

Geomorfologicamente a zona de Lavadores é bastante rica, na zona norte encontra-se o Cabedelo (língua de areia), que separa o Rio Douro do Mar, e observam-se algumas formas de erosão costeira, nomeadamente a plataforma de



erosão, bolas graníticas, arcos, marmitas, blocos pedunculados, disjunção esferoidal, etc.

O maciço granítico de Vieira do Minho está abrangido na folha 6-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000 (Noronha & Lima, 1992) e ocupa uma área aproximada de 160Km<sup>2</sup> no sector estudado. Este maciço situa-se no distrito de Braga, apresenta uma orientação de instalação NNW-SSE que é subconcordante com a estruturação regional, N60W, estando espacialmente associado à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua (Martins, 1998).

Este maciço granítico apresenta um papel fundamental na paisagem do NW Português. A Serra da Cabreira é constituída por duas unidades de granitos que marcam de forma tão única esta região. Na zona Norte desta Serra é possível observar relevos que podem ter sido desenvolvidos pela glaciação do quaternário (Ribeiro et al., 2001).

O maciço granítico de Vila Pouca de Aguiar localiza-se no distrito de Vila Real constituindo grande parte da Serra do Alvão. Apresenta uma forma alongada segundo a direção NNE-SSW e ocupa uma área de cerca de 200km<sup>2</sup> (Martins et al., 2009). Grande parte da extensão deste maciço encontra-se representado na folha 6-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Noronha et al., 1998). A instalação do maciço de Vila Pouca e Aguiar foi condicionada pela falha de Penacova-Régua-Verin, (Martins et al., 2009).

Em termos geomorfológicos esta região é marcada pelo extenso vale que se alonga desde Vila Real, passando por Vila Pouca de Aguiar até Chaves. Este extenso vale está ladeado a oriente pela Serra da Padrela e a ocidente pela Serra do Alvão, esta última de constituição exclusivamente granítica. A formação do vale e das encostas que o ladeiam deve-se a movimentação relativamente recente da falha Penacova-Régua-Verin, de orientação NNE-SSW (Sant'Ovaia et al., 2011).

## 2.3. Enquadramento Geológico e Tectónico-Estrutural

### 2.3.1. Enquadramento na Cadeia Varisca

Durante o Carbonífero e o Pérmico deu-se a colisão dos continentes Laurásica e Gondwana, aquando do fecho do oceano Rheic. A colisão destes continentes gerou o supercontinente Pangea e esta colisão foi designada como Orogenia Varisca. Durante este processo deu-se a instalação das grandes massas graníticas que se fazem observar no NW peninsular.

A unidade Varisca na Península Ibérica é caracterizada por várias zonas geotectónicas, que apresentam características paleogeográficas, tectónicas, metamórficas, e plutónicas distintas que se dispõem paralelamente às linhas estruturais da cadeia Varisca (Farias et al., 1987; Julivert et al., 1974). As zonas geotectónicas que se encontram na Meseta Ibérica, nomeadamente em Portugal continental, são a Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro Ibérica (ZCI), Zona Ossa-Morena (ZOM) e a Zona Sul Portuguesa (ZSP). Um dos principais contactos geotectónicos no NW peninsular é o da Zona Centro Ibérica (ZCI) com a Zona Ossa-Morena (ZOM), que é marcado pelo cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT).

A Orogenia Varisca promoveu o desenvolvimento de um grande arco, o qual é designado por Arco Ibero-Armoricano. Esta estrutura prolonga-se desde o Sul de Portugal até à Boémia (Polónia-Checoslováquia) atingindo uma extensão de 3000km e uma largura de 700km. As estruturas da cadeia varisca que se fazem observar apresentam a direção que varia de WNW-ESSE e passando para NNW-SSE desde a zona centro à zona NW de Portugal. O Arco Ibero-Armoricano é conhecido como a virgãção mais acentuada do planeta (Martins 1998).

A zona mais interna do segmento Ibérico da cadeia Varisca constitui a ZCI, na qual foram reconhecidas 3 fases de deformação dúctil,  $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$  (Ribeiro 1974; Ribeiro et al., 1979; Noronha et al., 1979; Pereira, 1987; Balda, 1990).  $D_1$  e  $D_2$  correspondem ao estágio colisional da orogenia Varisca, enquanto a última fase de deformação dúctil  $D_3$ , de idade Namuriana-Vestefaliana está relacionada com um regime tectónico extensional pós-espessamento (Dias e Ribeiro, 1995). Esta fase de deformação foi seguida por uma fase pós (tardi) Varisca, a qual é designada por fase pós- $D_3$  ou  $D_4$  (Pereira 1987). Trata-se de uma fase de carácter frágil que teve início no Estefaniano até ao Pérmico. Foi durante a fase  $D_3$  e  $D_4$  que se instalaram as grandes massas graníticas no NW peninsular e que deram origem aos granitos que

designamos por granitos orogénicos que fazem hoje parte da geomorfologia do NW português.

A instalação as massas orogénicas granitas decorreu em fases distintas da fase de deformação  $D_3$ , sin-, tardi- e tardi a pós- $D_3$ . Os granitos correspondentes a esta fase instalaram-se nas zonas de cisalhamento, assim relativamente á zona de cisalhamento Vigo-Régua, sulco carbonífero Dúrico-Beirão, cisalhamento Laza-Rebordelo e cisalhamento Viver-Ilfanes observam-se massas graníticas correspondentes a sin- $D_3$ . Relativamente às massas graníticas tardi- $D_3$  observam-se nas zonas mais externas dos cisalhamentos, estando associadas ao sulco Dúrico-Beirão e ao cisalhamento Vigo-Régua. Neste grupo encontra-se o granito de Vieira do Minho (Martins 1998).

A fase  $D_4$  regeu-se por desligamentos frágeis que controlaram a instalação de granitóides pós- $D_3$ . O sistema de fracturação associado a esta fase apresenta direções NE-SW a NNE-SSW com movimento esquerdo, sendo exemplos a falha de Gerês-Loivos e a falha Penacova-Régua-Verín que controlam a instalação do granito do Gerês e o granito de Vila Pouca de Aguiar, respetivamente (Mendes & Dias, 2004; Martins et al., 2009).

A ZCPT foi ativada durante a fase  $D_1$  e durante  $D_3$  deu origem a um desligamento direito (Ribeiro et al., 1979). Esta estrutura marca o limite entre a ZCI e a ZOM e controlou a instalação de massas graníticas nomeadamente, Lavadores, Madalena e Castelo do Queijo, que apresentam uma orientação NW-SE sendo considerados como granitos pós-tectónicos (Martins et al., 2011).

### **2.3.2. Granitos associados á Zona de Cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT)**

A instalação dos granitos de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena foi condicionada pela ZCPT, encontrando-se alinhados segundo esta estrutura (Fig.2). A ZCPT apresenta uma orientação NW-SE e é uma estrutura subvertical. Estende-se por 170km, desde o Porto até Tomar, podendo assumir uma largura e extensão que vai desde os 2 aos 8 km (Martins et al., 2011)

O Granito de Castelo do Queijo (GCQ), é um granito biotítico porfiróide e apresenta-se numa pequena mancha junto ao Forte Francisco Xavier e na praia do Ingleses onde se apresenta em forma de brecha, sendo intrusivo nos gneisses

Cadomianos (Noronha & Leterrier, 2000) do Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Fig.3). Este granito é do tipo porfiróide de grão médio a grosseiro, com uma cor clara. Evidenciam-se encraves de rochas melanocratas (tonalitos) alguns mesmo de grandes dimensões (Teixeira, 1970; Noronha e Leterrier, 2000).

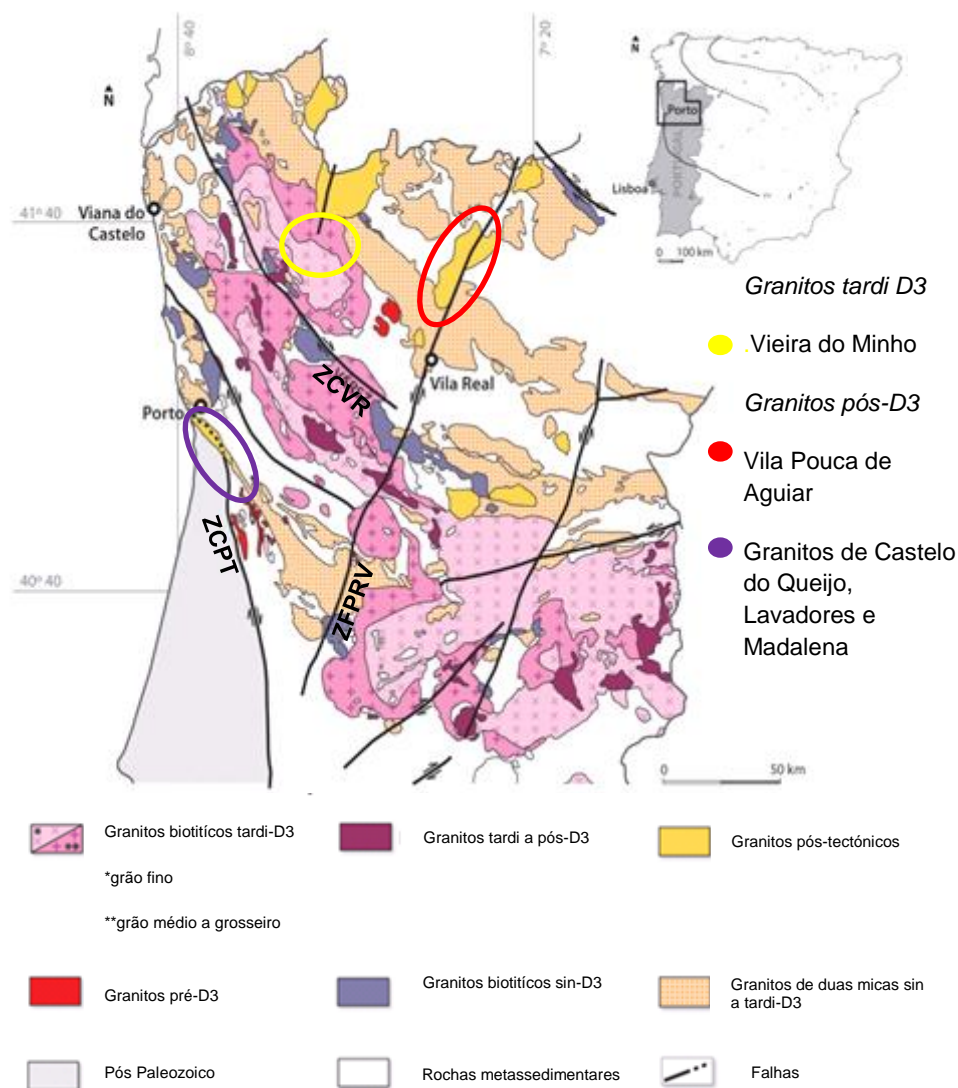


Fig.2. Mapa do Norte de Portugal, onde estão representados os granitos Variscos e a localização dos granitos estudados. ZCPT: zona de cisalhamento Porto-Tomar; ZCVR: zona de cisalhamento Vigo-Réguia; ZFPRV: zona de falha Penacova-Réguia-Verin (Ferreira et al., 1987, modificado).

Na margem sul do rio Douro encontra-se o granito de Lavadores (GL) que ocorre numa estreita faixa ao longo do litoral de Vila Nova de Gaia (Fig.3), estendendo-se 60 km para sul onde corta discordantemente rochas metamórficas pré-câmblicas (Chaminé et al., 2003; Oliveira et al., 2010). Este granito apresenta um

contacto gradual com o granito da Madalena (GM), que por sua vez se prolonga para sul de Espinho (Martins et al., 2003; Martins et al., 2011).

O granito de Lavadores é biotítico, do tipo porfiróide, apresenta uma coloração rosada e encraves com uma ampla gama composicional. O granito da Madalena também é um granito biotítico e apresenta por sua vez uma cor rosa como o granito de Lavadores, mas os encraves são de menor dimensão e menos abundantes (Martins et al., 2003).

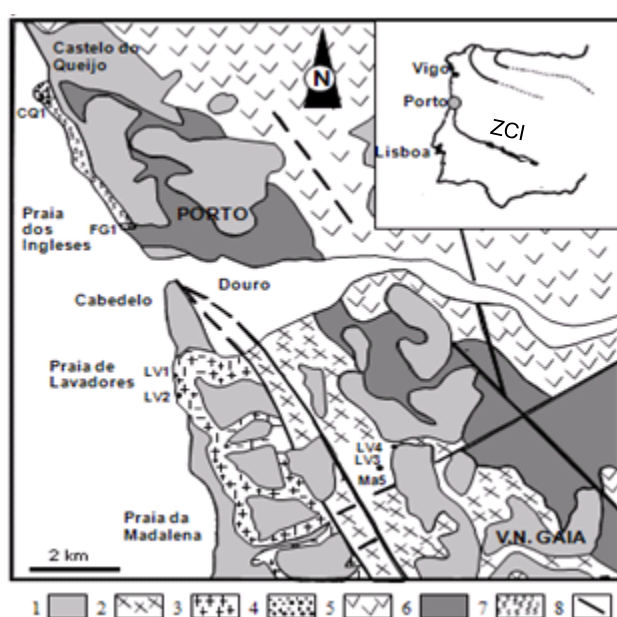


Fig.3. Mapa geológico simplificado da região do Porto. 1-depósitos do quaternário; 2-granito da Madalena; 3-granito de Lavadores; 4-Granito do Castelo do Queijo; 5-granito do Porto; 6; Complexo Xisto-Grauváquico; 7-gneises; 8-Falhas. (Martins, et al., 2003)

### **2.3.3. Granitos associados à Zona de Cisalhamento Vigo-Régua (ZCVR) (Maciço de Vieira do Minho)**

O maciço de Vieira do Minho pertence a um grupo extenso de granitóides que ocorrem espacialmente associados à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua de orientação N60W (Fig.2).

O maciço de Vieira do Minho apresenta uma orientação NNW-SSE (Fig.4), sub-paralela ao alinhamento Vigo-Régua e corta discordantemente as estruturas das rochas encaixantes representadas por metassedimentos de idade Silúrica (Ribeiro et al., 2001).

Este maciço é constituído por duas unidades graníticas, essencialmente biotíticas, que manifestam entre si relações geométricas e distribuição espacial de grande interdependência (Fig.4). Assim distingue-se o granito de Vieira do Minho (GVM) e o granito de Moreira de Rei (GMR) (Martins 1998). O granito de Vieira do Minho apresenta uma área aproximada de 100km<sup>2</sup>, é do tipo porfiróide, tem uma matriz de grão grosseiro com megacristais de feldspato potássico que podem atingir os 10 cm. Observam-se estruturas resultantes do fluxo magmático marcadas pela orientação dos megacristais de feldspato potássico. Os encaves microgranulares neste granito são pouco abundantes e de natureza tonalítica (Martins 1998).

O granito de Moreira de Rei aflora numa área de 60km<sup>2</sup>. É intrusivo no granito de Vieira do Minho (Fig.4). Esta massa granítica é do tipo porfiróide, apresenta uma matriz de grão médio com megacristais de feldspato potássico. Tal como o GVM, este não apresenta orientação dos constituintes, só os megacristais definem uma lineação NW-SE, sub-concordantes com as estruturas D<sub>3</sub> que podem definir o fluxo magmático que se fez sentir. Ao contrário do GVM, apresenta uma elevada abundância de encaves microgranulares máficos que definem uma direção N40W a N60W (Martins 1998).

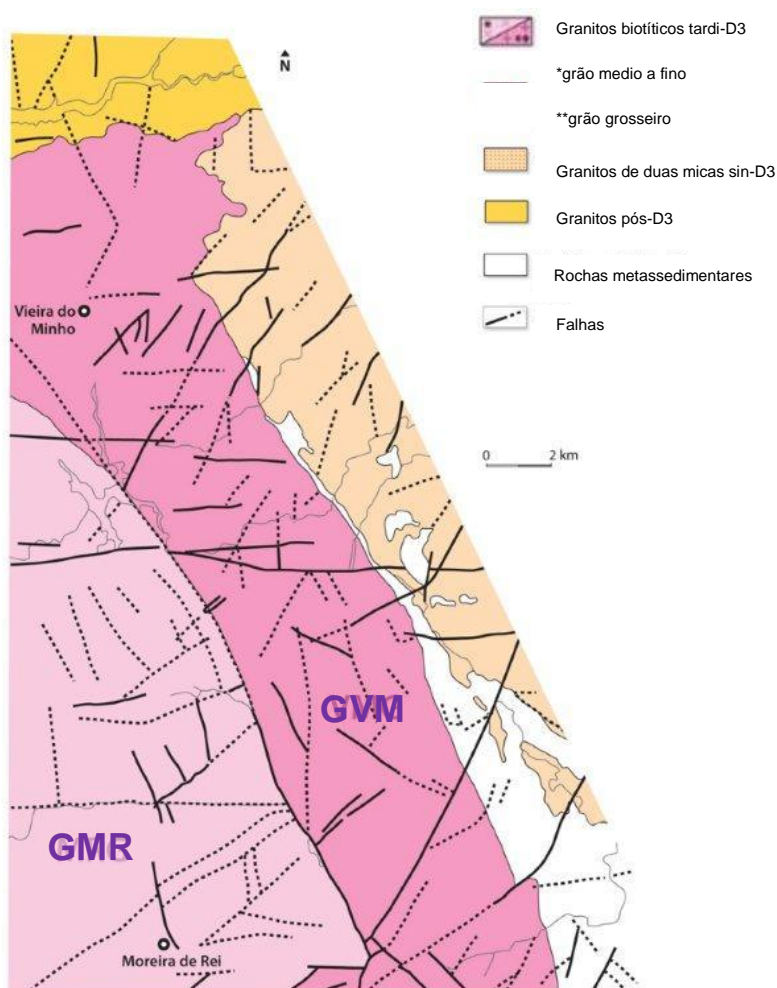


Fig.4. Mapa geológico simplificado do maciço de Vieira do Minho. GVM: granito de Vieira do Minho; GMR: granito de Moreira de Rei.

#### 2.3.4. Granitos associados à Zona de Falha Penacova-Régua-Verin (ZFPRV) (Maciço de Vila Pouca de Aguiar)

O maciço granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) aflora num corpo alongado com direcção NNE-SSW, paralelo à falha Régua-Verin, testemunhando o controlo exercido por esta estrutura tardi-varisca na instalação deste maciço (Fig.2).

Trata-se de um maciço constituído por duas unidades graníticas biotíticas mais representativas, os granitos de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) e Pedras Salgadas (GPS) e uma terceira de expressão cartográfica mais reduzida, o granito de Gouvães da Serra, que aflora a S, SW e a E (Fig.5). Este maciço é discordante relativamente aos granitos sintectónicos de duas micas assim como em relação às estruturas D3 registadas na sequência de rochas metassedimentares do Paleozóico inferior.

O granito de Vila Pouca de Aguiar representa cerca de 70% do maciço, é do tipo porfiróide, apresentando megacristais de feldspato potássico numa matriz de grão médio a grosseiro; é rico em biotite e apresenta frequentemente encraves melanocratas de composição granodiorítica e raramente tonalítica (Martins 1998; Martins et al., 2009).

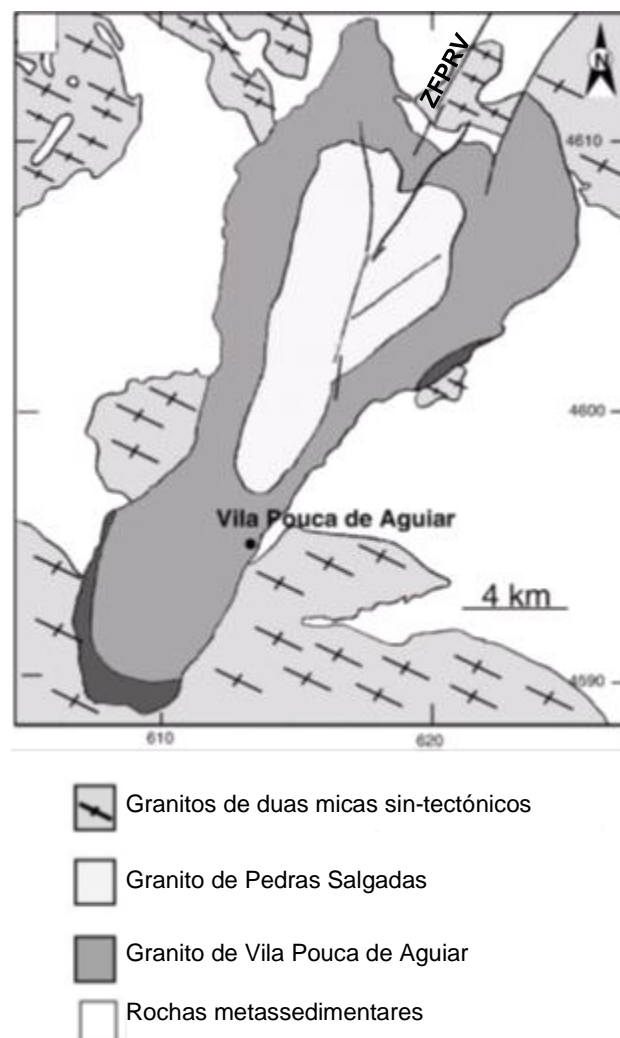


Fig.5. Mapa ilustrativo do Maciço de Vila Pouca de Aguiar. Observa-se na zona mais central (clara) o granito de Pedras Salgadas e na zona Cinzenta externa o granito de Vila Pouca de Aguiar (Martins et al, 2009 modificado). ZFPRV: Zona de falha Penacova-Régua-Verín.



O interior do maciço é marcado por uma intrusão que ocupa uma área de 60km<sup>2</sup>, o granito de Pedras Salgadas (GPS). Este granito é também biotítico e porfiróide, com uma matriz média a fina e os megacristais são frequentes, não ultrapassando os 2,5 cm. O contacto entre o GPS e GVPA é evidente no sector W onde se observa o controlo estrutural exercido pela falha na instalação do maciço granítico de Vila Pouca de Aguiar (Martins 1998).

Dados de ASM e estudos gravimétricos mostraram que a forma do maciço de VPA é, no geral, um lacólito com uma espessura inferior a 1km (Sant'Ovaia et al., 2000).



## ***Síntese Bibliográfica***

Petrografia, geoquímica, geocronologia, tipologia de Zircões

Capítulo 3



Os granitos submetidos ao estudo geoquímico de zircões apresentam-se do ponto de vista petrográfico, geoquímico e geocronológico estudados em dissertações de Doutorado e artigos científicos publicados. O granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena foram estudados numa dissertação de Doutorado (Silva 1995) e em vários artigos científicos (Martins et al., 2001; Martins et al., 2003; Martins et al., 2011). Os maciços de Vieira do Minho e de Vila Pouca de Aguiar foram estudados em dissertações de Doutorado (Martins, 1998; Sant'Ovaia, 2000) e foram alvo de artigos científicos (Martins et al., 2009; Dias et al., 2010; Martins et al., em publicação). As sínteses bibliográficas que se seguem ajudam ao esclarecimento das características relevantes destes granitos.

### 3.1. Petrografia

Tabela 1: Síntese bibliográfica das características petrográficas dos granitos em estudo. (a) Martins (1998); (b) Silva (1995); (c) Martins et al., (2011);

	Textura	Minerais essenciais e característicos	Minerais acessórios
<b>Granitóides tardi-D3</b>			
<i>Vieira do Minho (a)</i>	Porfiróide, de grão médio a grosseiro	Qtz, Fk, Pl, Bt, Ms	Zr, Mnz, Ap, Ilm, Al, Si, And
<i>Moreira de Rei (a)</i>	Porfiróide, de grão médio	Qtz, Fk, Pl, Bt, Ms	Zr, Mnz, Ap, Ilm, Al,
<b>Granitóides pós-D3</b>			
<i>Vila Pouca de Aguiar (a)</i>	Porfiróide, de grão médio a grosseiro	Qtz, Pl, Fk, Bt	Zr, Al, Ap, Ilm
<i>Pedras Salgadas (a)</i>	Porfiróide de grão médio a fino	Qtz, Pl, Fk, Bt, Ms	Zr, Al, Mnz, Xn, Ilm
<i>Castelo do Queijo (b)</i>	Porfiróide, de grão médio a grosseiro	Qtz, Fk, Pl, Bt,	Zr, Mnz, Ilm, Ap
<i>Lavadores (b) (c)</i>	Porfiróide de grão médio a grosseiro	Qtz, Fk, Pl, Bt, Hb	Zr, Mnz, Mt, Ap,
<i>Madalena (b) (c)</i>	Porfiróide de grão médio a fino	Qtz, Fk, Pl, Bt,	Zr, Mnz, Ilm, Mt, Ap,

Legenda: Qtz: Quartzo; Fk: Feldspato potássico; Pl: Plagioclase; Bt: Biotite; Ms: Moscovite; Hb: hornblenda; Zr: Zircão; Mnz: Monazite; Ap: Apatite; Ilm: Ilmenite; Al: Alanite; Si: Silimanite; And: Andaluzite; Mt: Magnetite; Xn: Xenótime;

### 3.2. Geoquímica de rocha total

Tabela 2: Análises químicas de elementos maiores e menores (%), elementos traço (ppm) e valores de A/CNK. Valores máximos e mínimos para cada elemento. (Silva, 1995)

	Castelo do Queijo		Lavadores		Madalena	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>SiO<sub>2</sub></b>	71.72	72.33	63.51	69.08	67.72	70.47
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.42	0.46	0.56	0.86	0.50	0.63
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13.55	13.78	14.09	16.22	14.44	15.98
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub></b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.07	0.29	0.67	1.02	0.10	0.71
<b>FeO</b>	1.94	2.02	1.96	3.74	1.85	2.29
<b>MnO</b>	0.10	0.11	0.02	0.23	0.11	0.13
<b>MgO</b>	0.88	0.91	1.52	2.19	1.05	1.32
<b>CaO</b>	1.54	1.82	2.44	3.70	2.05	2.69
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.28	3.30	2.89	3.63	3.73	4
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.30	4.41	3.43	4.68	3.85	4.47
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.25	0.31	0.32	0.45	0.21	0,27
<b>F</b>	0.11	0.36	0.12	0.49	0.08	0.34
<b>H<sub>2</sub>O<sup>+</sup></b>	0.68	0.70	0.37	1.08	0.21	0.89
<b>H<sub>2</sub>O<sup>-</sup></b>	0.09	0.16	0.01	0.15	0.01	0.14
<b>Total</b>	99.92	99.97	99.61	100.05	99.93	100.08
<b>A/CNK</b>	1.01	1.06	0.98	1.02	0.99	1.04
<b>Ba</b>	504	588	1042	1587	832	1265
<b>Rb</b>	221	225	145	189	124	154
<b>Sr</b>	631	742	803	1247	539	822
<b>Cs</b>	6	17	76	25	6	14
<b>Li</b>	36	44	35	54	35	53
<b>Co</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
<b>Cr</b>	n.d	n.d	11	42	16	26
<b>Cu</b>	*	8	8	19	7	30
<b>Ni</b>	n.d	7	15	26	13	28
<b>Zn</b>	45	62	37	54	27	51
<b>F</b>	1122	3570	999	4856	811	3386
<b>Sn</b>	22	50	7	51	9	67
<b>W</b>	12	31	6	23	6	16
<b>Nb</b>	51	67	31	44	15	35
<b>Zr</b>	240	387	277	478	265	349
<b>Ga</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
<b>Th</b>	28	62	21	61	12	40
<b>Y</b>	32	43	20	33	13	26
<b>V</b>	38	45	49	98	47	73
<b>Be</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
<b>Ta</b>	*	16	7	14	6	11
<b>U</b>	10	13	11	24	6	12
<b>Hf</b>	n.d	30	16	56	18	45

n.d. –Elemento não determinado \* - Abaixo do limite de detecção

Tabela 3: Análises químicas de elementos maiores e menores (%), elementos traço (ppm) e valores de A/CNK. Valores máximos e mínimos para cada elemento. (Martins, 1998)

	Vieira do Minho		Moreira de Rei		Vila Pouca de Aguiar		Pedras salgadas	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>SiO<sub>2</sub></b>	66.71	72.80	68.40	70.87	70.47	72.89	72.4	74.47
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.32	0.70	0.44	0.72	0.30	0.43	0.12	0.24
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13.61	15.83	13.91	15.27	13.35	14.57	13.33	14.08
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub></b>	2.47	4.61	2.90	4.12	2.09	3.22	1.41	1.77
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.16	1.11	0.20	0.72	0.38	0.83	0.03	0.51
<b>FeO</b>	1.84	3.25	2.36	3.06	1.42	2.02	0.98	1.28
<b>MnO</b>	0.02	0.06	0.02	0.06	0.04	0.06	0.03	0.08
<b>MgO</b>	0.32	1.03	0.60	1.15	0.51	0.79	0.25	0.42
<b>CaO</b>	0.88	2.08	0.74	2.10	1.50	1.99	0.83	1.26
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2.76	3.32	2.81	3.09	3.32	3.70	3.33	3.61
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.77	5.30	4.58	5.59	3.95	4.82	4.47	4.91
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.1	0.29	0.22	0.33	0.06	0.16	0.02	0.1
<b>PF</b>	0.46	0.79	0.55	0.83	0.61	1.23	0.61	1.15
<b>Total</b>	99.09	100.38	99.10	100.49	98.69	100.37	99.29	100.08
<b>A/CNK</b>	1.04	1.24	1.05	1.20	0.99	1.04	1.05	1.11
<b>Ba</b>	384	1134	460	813	264	453	200	333
<b>Rb</b>	216	319	274	366	214	263	225	312
<b>Sr</b>	102	247	120	305	36	124	44	85
<b>Cs</b>	9	23	14,1	33	13.8	35.2	16	23.9
<b>Li</b>	64	100	102	138	78	130	83	195
<b>Co</b>	5	36	4,93	44	3.40	36.5	1	2.04
<b>Cr</b>	73	135	15	120	29	85.3	26	75.8
<b>Cu</b>	5	15	6	13	3.82	5.64	2.67	6
<b>Ni</b>	16.4	36	5+	39	9.9	26	8	18
<b>Zn</b>	45	78.7	54	75	13	58.6	27	42
<b>F</b>	1250	1750	1450	2000	700	1050	650	950
<b>Sn</b>	6.5	79	10	18	10.7	23	10	57
<b>W</b>	1	3.2	1,4	3	0.8	6.9	1.5	4.9
<b>Nb</b>	5	18.9	11	20,7	12.8	16.3	12.1	15.9
<b>Zr</b>	150	312	187	265	126	196	88	110
<b>Ga</b>	14	24	15	27	20	24	18	27
<b>Th</b>	20	28.9	24	37	15	26.5	19	23.3
<b>Y</b>	14	34	16	27	26.6	48.4	27	43.6
<b>V</b>	15	42.8	23	45	19	35.6	9	13.7
<b>Be</b>	1.60	4	1.60	6	5	7.77	5.15	10
<b>Ta</b>	1.19	1.85	1,94	2.21	2	3.39	3	4.46
<b>U</b>	2.56	4.76	3,26	10,9	5.08	10.70	4.43	13.5
<b>Hf</b>	5.10	9	6	7,3	4.10	5.10	3.60	6.70

### 3.3. Geoquímica isotópica e geocronologia

Tabela 4: Síntese bibliográfica dos dados geocronológicos e parâmetros isotópicos dos granitos em estudo, (a) Martins (1998); (b) Silva (1995); (c) Martins et al., (2011).

	Geocronologia		Parâmetros isotópicos	
	Rb- Sr (rocha total)	U-Pb	Sr <sub>i</sub>	εNd
<b>Granitóides tardi-D3</b>				
<i>Vieira do Minho (a)</i>		311±2Ma	0,7084 – 0,7089	-5,6 a -5,1
<i>Moreira de Rei (a)</i>			0,7070 – 0,7075	-6,0 a -5,2
<b>Granitóides pós-D3</b>				
<i>Vila Pouca de Aguiar (a)</i>	299+-9Ma	299±3Ma	0,7070 – 0,7074	-2,54 a -2,47
<i>Pedras Salgadas (a)</i>	295+-13Ma		0,7049 – 0,7056	-1,98 a -1,94
<i>Castelo do Queijo</i>				
<i>Lavadores (b)</i>	314+-11Ma (b)	298±12Ma (c)	0,70434-0,70447	-0,8
<i>Madalena</i>				



### 3.4. Tipologia de Zircões segundo Pupin

Pupin & Turco (1972) e Pupin (1980) propuseram uma classificação morfológica para os cristais de zircão, que foi aplicada com sucesso à petrologia de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, classificação genética de granitos e para o zonamento magmático associado a granitos orogénicos. Esta metodologia tem sido largamente aplicada dada as múltiplas indicações que pode fornecer, nomeadamente a natureza do magma original, quimismo, temperatura de cristalização e teor de água (Pupin et al., 1978; Pupin, 1980).

Os estudos morfológicos de grãos de zircão evidenciam que o zircão pode cristalizar em vários períodos de tempo, durante a fase magmática, dependendo da composição do magma e da fase de fluidos ativos, assim o Zr exibe um comportamento periodicamente incompatível. A morfologia do zircão muda assim consoante o ambiente de cristalização, a temperatura e a quantidade de alumina-alcalis no magma (Pupin, 2000).

#### 3.4.1. Princípio do método

Este estudo envolve no mínimo 100 cristais euédricos de zircão por cada amostra. Como o desenvolvimento dos prismas e das pirâmides, juntamente com as suas diferentes combinações observam-se 16 tipos morfológicos de zircão, que também apresentam por sua vez sub-tipos, num total temos 66 tipos e subtipos de cristais de zircão (Pupin & Turco 1972; Pupin 1976);

A Figura 5 é um quadro de Pupin & Turco (1972) que mostra a relação prismas, pirâmides, índice A e índice T. O índice A corresponde ao desenvolvimento das pirâmides, este índice está relacionado com o grau de alcalinidade/aluminosidade do meio responsável. O índice T corresponde ao fator temperatura, que influencia o desenvolvimento dos prismas. Os zircões em estudos são contados e identificados neste quadro de representação tipológica, e consoante a frequência de cada tipo que foi encontrado, expressa-se em percentagem, o que permite fazer uma comparação das diferentes tipologias de zircão.

O único fator que fica de fora deste quadro que envolve a maior parte dos parâmetros que influencia o desenvolvimento do zircão é o facto dos comprimentos

das faces prismáticas não ser um fator que influencia a identificação dos grãos (Simões, 2000).

Para se proceder à identificação da tipologia de zircão, estes são montados em lâminas delgadas e a contagem dos grãos é feita ao microscópio óptico.

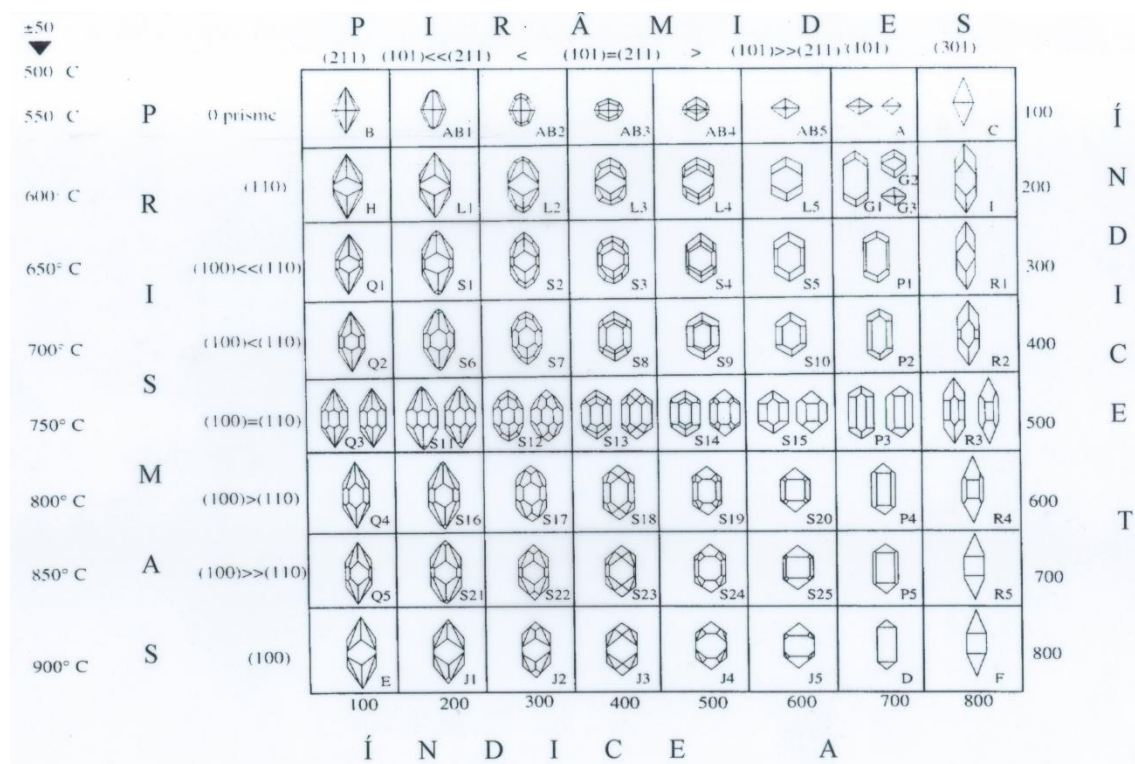


Fig.5. Grelha tipológica que mostra os diferentes tipos e subtipos fundamentais da classificação de Pupin & Turco (1972)

Os tipos mais frequentes encontrados na natureza são os dos tipos principais S, L, G, P, J e D. Os do tipo C, I, R, e F correspondem a tipos teoricamente possíveis relatados na bibliografia (Martins, 1998).

A determinação dos tipos e dos subtipos não opõem qualquer problema do ponto de vista teórico, pois trata-se de reconhecer as diferentes formas que delimitam o cristal e de avaliar o seu desenvolvimento relativo. Na prática todo este processo é complexo e demorado, devido, não só ao pequeno tamanho dos cristais, desgaste das arestas e dissimetrias, bem como a presença de fraturas, inclusões e sobrecrecimentos, que turvam a sua limpidez, e muitas vezes os cristais não se encontram na posição correta para fazer a sua identificação.

### 3.4.2. Granitos associados à ZCPT

A morfologia dos zircões dos granitos do Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena varia desde cristais aciculares a prismáticos, geralmente límpidos, a cristais lamelares por vezes ligeiramente turvos (Martins et al., 2003).

De acordo com o estudo tipológico dos grãos de zircão para o granito de Castelo do Queijo (CQ1) observa-se um núcleo de frequência nos subtipos S15, S20 e S10. Obteve-se um índice A de 565 e um índice T de 486.

O granito de Lavadores apresenta tipologia dominante de S18 e S24 seguidas S12, S13, S17, S19, 20, S22, S23 e S25. Esta população de zircão apresenta índice A de 440 e T de 591.

O granito de Madalena apresenta um núcleo de frequência maior nos subtipos S13, S5 e S9 evidenciando um índice A de 454 e um índice T de 431 (Fig.6).

A evolução tipológica dos granitos de Lavadores e Madalena insere-os no domínio dos granitos calco-alcalinos ricos em K, enquanto o granito do Castelo do Queijo se aproxima dos granitos subalcalinos (Martins et al., 2003).

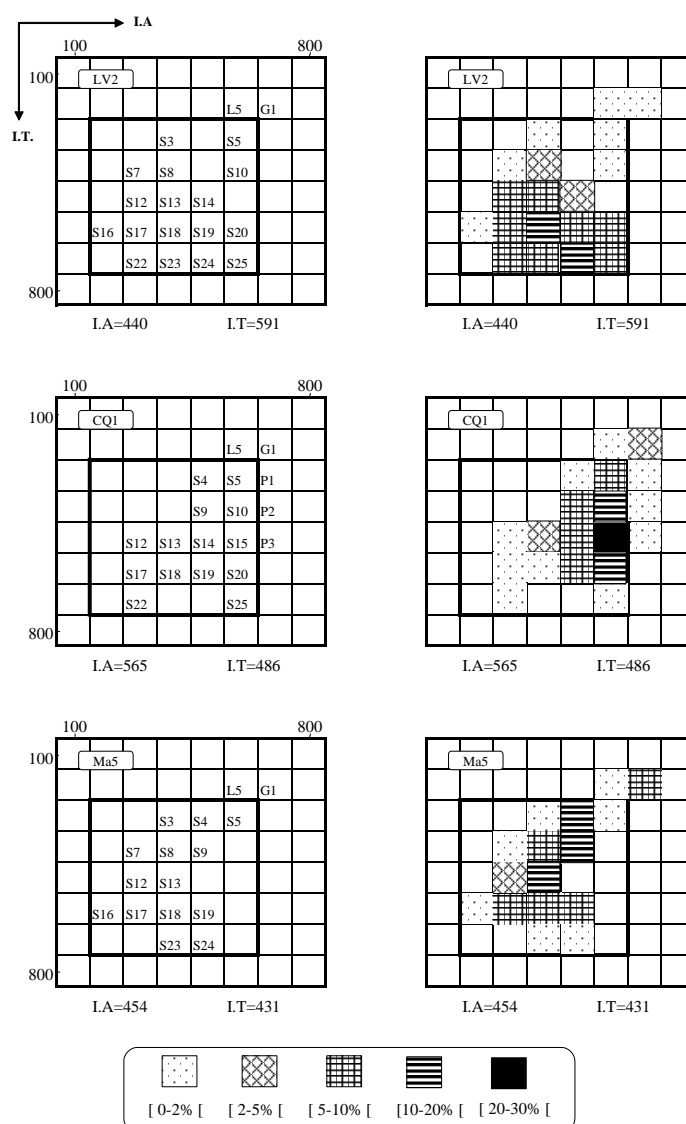


Fig.6. Diagrama de distribuição tipológica de populações de zircão do Granito de Castelo do Queijo (CQ1), Lavadores (Lav2) e Madalena (Ma5) (Martins et al., 2003).

### 3.4.3. Granitos associados à ZCVR (Maciço de Vieira do Minho)

Morfologicamente os zircões dos granitos de Vieira do Minho e de Moreira de Rei não apresentam grandes diferença sendo essencialmente zircões do tipo prismático, lamelar e multifacetados (Martins, 1998).

Ambas as amostras apresentam uma variedade de tipos, observam-se alguns zircões do tipo L e S. Os tipos cristalográficos mais representados são S2, S3, S7 e S12 na amostra 6C-30 (GVM) destacando-se os subtipos S12, S13, S17 e S3 no GMR (Martins, 1998) (Fig.7). Esta distribuição tipológica corresponde em geral aos monzogranitos aluminosos intrusivos, que são granitos de origem crustal ou essencialmente crustal (Pupin, 1988).

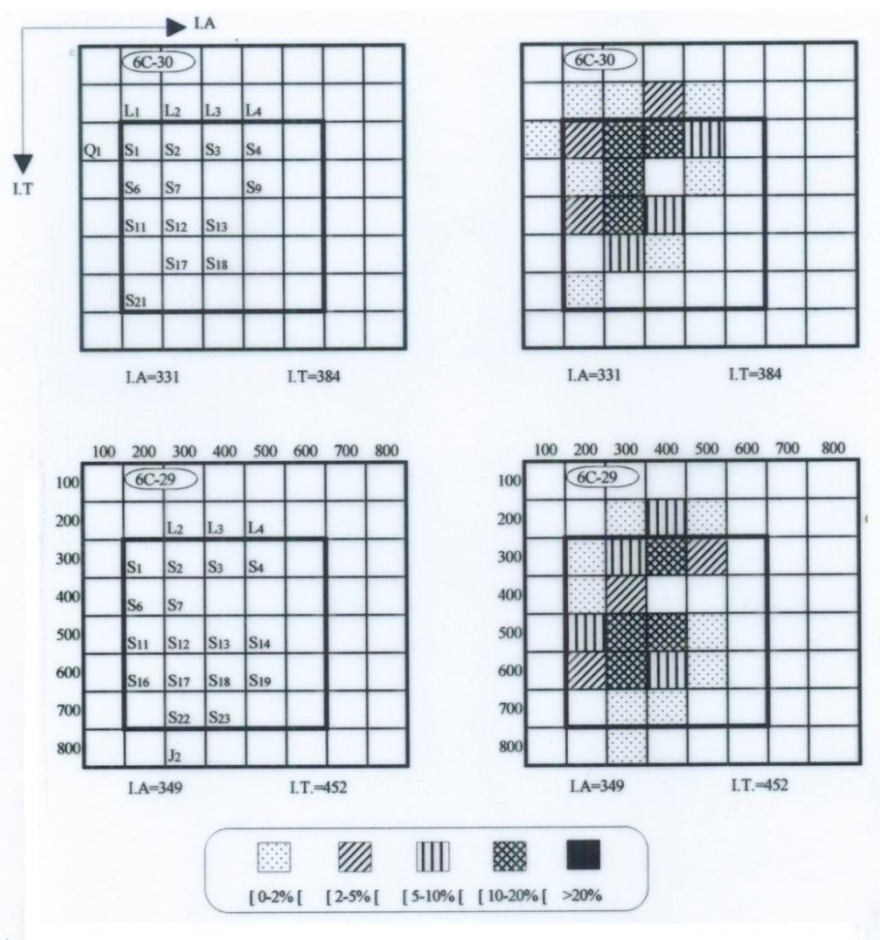


Fig.7. Diagrama de distribuição tipológica de populações de zircão do Granito de Vieira do Minho (6C-30) e Moreira de Rei (6C-29) (Martins, 1998).

### 3.4.4. Granitos associados à ZFPRV (Maciço de Vila Pouca de Aguiar)

A nível morfológico os zircões de Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas são essencialmente prismáticos, aciculares e lamelares. Os cristais apresentam-se por vezes amarelados, devido aos fenómenos metamitização (Martins, 1998).

A tipologia referente a este maciço evidencia que para o granito de Vila Pouca de Aguiar (74-20) a tipologias mais abundantes são S17, S18 e S24, e para o granito de Pedras Salgadas observa-se um núcleo de maior frequência em G1 e P1 seguidos de L5, P5, S19, S24 e S25 (fig8). Segundo Pupin (1980) estes granitos são caracterizados como sendo calcoalcalinos a subalcalinos (Martins, 1998).

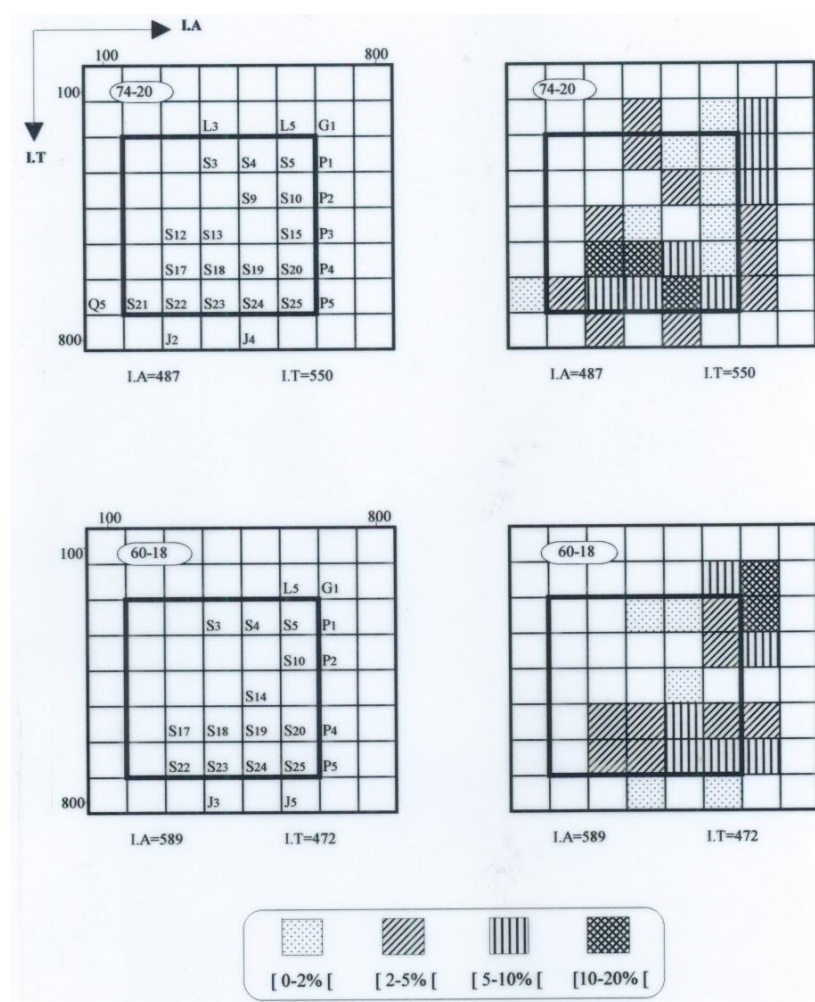


Fig.8. Diagrama de distribuição tipológica de populações de zircão do Granito de Vila Pouca de Aguiar (74-20) e Pedras Salgadas (60-18) (Martins, 1998).



# ***Metodologias***

## Capitulo 4





#### 4.1. Obtenção de Concentrados de Zircão

Os métodos de separação são baseados nas propriedades físicas e químicas dos minerais e, em particular nas diferenças de densidade e de susceptibilidade magnética. O processo de separação dos minerais pesados (Zircão) compreende a execução sequencial de uma série de etapas a seguir apresentadas.

As metodologias realizadas para a obtenção de concentrados de zircão foram efetuadas em quatro amostras, Castelo do Queijo (CQ1), Lavadores (LAV 99 e LAV5) e Madalena (LAV3), correspondentes a rochas graníticas. Numa primeira fase e a partir de uma fração de dimensões da ordem dos 50-250 $\mu$ m, na qual, os zircões são em geral mais numerosos, procedeu-se à separação dos minerais pesados recorrendo à utilização de líquidos densos (bromofórmio+ iodeto de metileno). Os concentrados assim obtidos foram em seguida tratados no separador eletromagnético (Frantz), utilizando inicialmente uma intensidade fraca (0.5A) a fim de eliminar os minerais pesados paramagnéticos. A fração não magnética do concentrado de zircão é obtida por passagens sucessivas e fazendo variar a inclinação lateral desde +5° até 0° ou -1°, -2° e com uma inclinação frontal de 15° e utilizar uma intensidade superior ou igual a 1.7A do separador eletromagnético.

Finalmente foram efetuadas as etapas do processo de preparação dos zircões para posterior estudo geoquímico que passou pela seleção das diferentes frações à lupa binocular (picking), tendo em conta o tamanho, a forma e limpidez dos cristais. Em geral recomenda-se uma seleção de 3 a 5 frações (de 50 a 100 grãos ou seja 0.1 a 0.8 mg) correspondentes a tipos ou granulometrias diferentes. Nesta seleção foram evitados os zircões com evidência de metamorfização, fraturados ou contendo inclusões e núcleos relíquia. Todo este procedimento foi realizado nos Laboratórios do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da FCUP. A Figura 9 mostra de uma forma geral, as metodologias acima descritas.

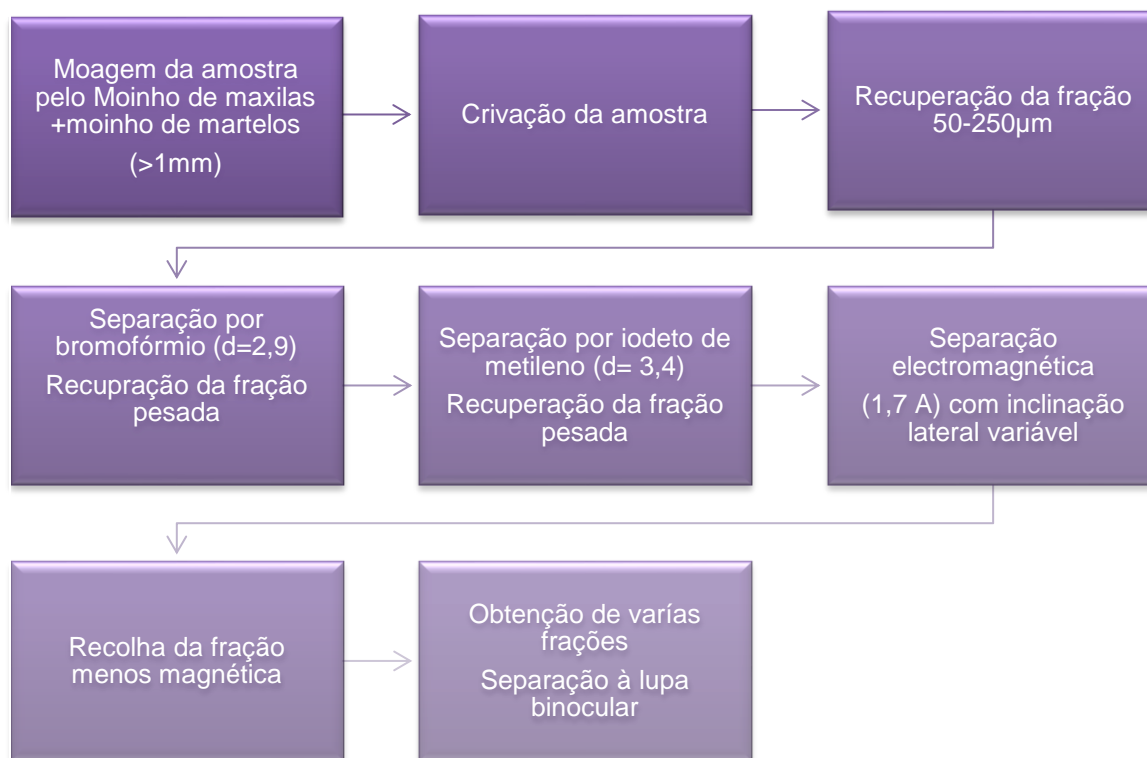


Fig.9. Esquema simplificado do processo de obtenção de concentrados de zircão

## 4.2.Grau de Cristalinidade em zircões

Com o objetivo de avaliar o grau de cristalinidade dos zircões foram efetuadas em cada amostra diretamente nos diferentes grãos de zircão análises de Espectroscopia micro-Raman. As análises foram efetuadas com um espectrómetro Labram Dilor- Jobin Yvon-Spex. Este espectrómetro está equipado com um laser de He-Ne de 20 mW, cuja radiação excitante é de 632,8nm.

A análise de materiais geológicos através da espectroscopia micro-Raman apresenta-se como uma técnica bastante útil na análise físico-química dos elementos. Esta técnica efetua-se de uma forma rápida e com elevada resolução, não é destrutiva e não necessita de uma preparação prévia. As análises podem ser efetuadas à temperatura e pressão ambiente e as amostras podem ter qualquer tamanho e apresentar uma forma variável (Prieto & Guedes, 2008).

O efeito Raman consiste num fenómeno de variação de frequência de onda que acompanha a difusão da luz quando efetuada através de um meio material. Quando se ilumina o meio material com uma radiação monocromática, utilizando por exemplo um raio laser, uma fração dos fotões que constituem essa radiação é refletida, outra é absorvida e uma parte muito pequena é difundida em todas as direções. Como uma molécula poliatômica tem vários níveis de energia vibracional e, por sua vez, cada um destes níveis está associado aos correspondentes subníveis rotacionais, o efeito Raman relaciona-se com vibrações e rotações moleculares. A espectroscopia Raman permite o acesso à energia de transição entre dois níveis moleculares de uma molécula, uma vez que os grupos moleculares possuem vários modos de vibração que correspondem a estados de energia específicos das moléculas (Prieto & Guedes, 2008).

A interação entre a luz incidente e o modo vibracional, provoca perdas e ganhos de energia no feixe, dando origem à dispersão Raman, composta por diferentes radiações com comprimento de onda inferior (dispersão Stokes) e superior (dispersão anti-Stokes) à radiação incidente. Sendo a perda de energia o fenómeno mais provável, é o lado mais intenso da dispersão Stokes que é analisado (Prieto & Guedes, 2008).

O espectro Stokes-Raman consiste na projeção da intensidade de dispersão *versus* a perda de energia, expressa em número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) relativamente à energia incidente. Os picos do espectro correspondem as energias dos estados vibracionais das diferentes espécies na amostra, sendo a sua intensidade proporcional, entre outros fatores, ao número de moléculas de volume excitado, o que permite a quantificação das espécies moleculares (Prieto & Guedes, 2008).

O espectro Raman fornece várias informações sobre a composição, grau/estado de alteração dos componentes químicos e fases mineralógicas do mineral em estudo. Assim a Raman avalia (Prieto & Guedes, 2008):

- O número de onda das bandas e picos Raman ( $\text{cm}^{-1}$ ), o qual permite fazer a atribuição dos modos fundamentais de vibração e identificar com precisão o material e a espécie química analisada.
- A intensidade das bandas ou área integrada que permite realizar estudos quantitativos e determinar concentrações relativas;

- A largura a meia altura das bandas (FWHM,  $\text{cm}^{-1}$ ), que fornece informação relativa a aromaticidade das bandas, presença de tensões distensivas ou compressivas que afetam as distâncias das ligações iônicas e moleculares envolvidas na dinâmica vibracional e o grau de cristalinidade do material;
- A decomposição do espectro nas respectivas bandas e análise do perfil das mesmas atendendo ao carácter Gaussiano –Lorentziano, que fornece informação sobre a cristalinidade das fases componentes e permite desenvolver modelos experimentais de estruturas químicas dinâmicas;

Estes parâmetros fornecem informações valiosas sobre a dinâmica vibracional das fases cristalinas e moleculares que constituem a estrutura de um mineral (Prieto & Guedes, 2008).

Os espectros Raman de objetos micrométricos podem ser obtidos associando um microscópio óptico a um espectrómetro Raman equipado com um sistema de deteção multicanal, em que a objetiva focaliza um feixe de raios laser sobre o composto a estudar e recolhe a luz difundida que é analisada pelo espectrómetro. Esta tecnologia apresenta um domínio nos estudos de carácter mineralógicos e gemológicos (Prieto & Guedes, 2008).

A espectrometria Raman é, ainda, utilizada como um método comparativo no que se refere à identificação de minerais sendo em alguns casos possível calcular/prever o local dos picos de uma substância. Da análise resulta o fornecimento de informação direta, levando ao conhecimento imediato de classes de compostos, tais como carbonatos, nitratos, silicatos, sulfatos e fosfatos, através das posições dos picos Raman mais desenvolvidos.

### **4.3.Estruturas internas e análises químicas em zircões**

As estruturas internas dos grãos de zircão foram obtidas ao Microscópio Eletrónico de Varrimento (MEV) para as amostras pertencentes aos granitos de Lavadores, Madalena e Castelo do Queijo. O laboratório escolhido foi o Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP) e o MEV utilizado foi o FEI QUANTA 400FEG ESEM e a máquina utilizada para análise qualitativa foi EDAX PEGASUS XAM.

Relativamente às amostras de Vila Pouca de Aguiar, Pedras Salgadas, Vieira do Minho e Moreira de Rei, foram retiradas imagens na microsonda eletrónica, a quando da análise química dos zircões de todas as amostras.

A composição química dos zircões de Castelo do Queijo, Lavadores, Madalena, Vieira do Minho, Moreira de Rei, Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas, foi realizada à microsonda eletrónica onde se observou a estrutura interna e se fez a análise pontual nos grãos que se apresentavam em maior número e com o mesmo grau de alteração (Amostra representativa). O laboratório onde foram obtidas as análises químicas foi o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) em São Mamede Infesta e a microsonda utilizada foi JEOL FXA – 8500F com um o feixe de 1µm, energia de 20Kv e corrente de 20 nA.

#### **4.3.1.Microscópio Eletrónico de Varrimento (MEV)**

A microscopia eletrónica compreende diversos métodos experimentais e modos de imagem/detecção e facilidades analíticas associadas, continua a liderar as técnicas de alta resolução espacial para a caracterização morfológica, microanalítica e microestrutural de materiais (Sá, 2008).

O MEV apresenta um papel privilegiado, na investigação da superfície exposta, da fratura, ou da secção de corte transversal de todas as classes de materiais para a sua caracterização morfológica, microanalítica e microestrutural, para avaliara as propriedades internas da superfície, e a sua alteração no curso de processos experimentais e oferece uma resolução e uma grande diversidade de condições experimentais sem restrições revelantes no que respeita á forma ou dimensões da amostra (Sá, 2008).

Os novos instrumentos MEV tiram partido das facilidades da alta resolução e estabilidade dos canhões de emissão de campo e possibilitam também a operação de baixo vácuo. Estes métodos oferecem novas oportunidades realizar análises de materiais com baixa condutividade elétrica. O sistema de microanálise de Raios X, permite a caracterização local da composição elementar de amostra, bem como uma vasta gama de operações automáticas e programadas, que inclui a realização sequencial automática de imagens e mapas a raio X com captura integral dos espectros, e a pesquisa, análise e identificação automática de partículas em múltiplas amostras, com facilidades alargadas de processamento posterior dos dados num sistema autónomo (Sá, 2008).

#### **4.3.2. Microsonda Eletrónica**

A microsonda eletrónica é uma ferramenta de grande utilidade, pois consegue realizar análises quantitativas de fases minerais, obtenção de mapas de raios X por elemento, estudo de variações de fases minerais, pesquisa de elementos traço, etc (Guimarães, 2008).

A utilização deste equipamento requer uma preparação do material em estudo. Assim todas as amostras que não sejam um bom condutor elétrico devem ser revestidas com carbono para haver a interação do feixe gerado pela microsonda e os átomos da amostra. Da interação amostra-feixe resultam a emissão de eletrões e de raios X (Guimarães, 2008).

Esta técnica não é destrutiva e a sua rapidez é diferente para cada tipo de análise. Se o objetivo do estudo na microsonda eletrónica passar por obter elementos com baixas concentrações, então o tempo de espera será maior visto que as condições do feixe, seleção do cristal e os tempos de contagem são fundamentais para a obtenção de bons resultados nas medições (Guimarães, 2008).

A microsonda gera um feixe de alta energia que interage com os átomos da amostra. Desta interação resultam vários fenómenos físicos, entre os quais a emissão de eletrões e de Raios X. Os eletrões são detetados e usados para a obtenção de imagens topográficas e de contraste de número atómico. Os Raios X emitidos são comparados em número, energia/comprimento de onda com os emitidos num padrão para efeitos de quantificação. Esta técnica fornece composições em volumes da ordem do micron e que permite também a análise de elementos em baixa

concentração. As condições de medida são determinantes na resolução que se pode obter com esta técnica (Guimarães, 2008).

A microsonda instalada no LNEG utiliza um canhão de efeito campo para gerar o feixe de eletrões, permitindo assim obter imagens de alta resolução, a alta ou a baixa corrente (10 - 100 nA). Uma das características importantes é o facto de se conseguir diâmetro de sonda muito pequeno mesmo para baixas tensões de acelerações e assim permitir análise elementar em micro áreas. O feixe é focado por um conjunto de lentes eletromagnéticas sobre a superfície da amostra (Guimarães, 2008).

A microsonda é constituída por 5 espectrómetros de Dispersão de Comprimentos de Onda, onde estão instalados 12 cristais (PET, TAP, LIF e LED) que cobrem todo o espectro desde o Berílio ao Urânio. Nesta também se encontra instalado um espectrómetro de Dispersão de Energias que realiza leituras qualitativas rápidas (Guimarães, 2008).

Para as análises quantitativas a microsonda possui instalados programas de correção ZAF, PAP e CITAF (Guimarães, 2008).

Os limites de deteção utilizados para os elementos analisados foram os seguintes: Si 244ppm, Pb 107ppm, Fe 240ppm, Al 224ppm, P 243ppm, Hf 421ppm, La 1042ppm, Ca 111ppm, Pr 663ppm, Ce 836ppm, Zr 479ppm, Nd 667ppm, Zn 340ppm, Ti 222ppm, Gd 786ppm, Th 514ppm, U 156ppm e Y 421pmm.





# ***Geoquímica de Zircão***

Resultados

Capítulo 5



### 5.1. Grau de cristalinidade

Os espectros obtidos na Microsonda Raman para além de permitirem confirmar a identificação do mineral em estudo permitiram, a partir da observação dos picos do espectro, nomeadamente do pico obtido aos aproximadamente  $1000\text{cm}^{-1}$ , caracterizar a sua largura a meia altura (FWHM) permitindo avaliar o grau de cristalinidade do material, quanto menor o FWHM maior é a cristalinidade do mesmo. Foi ainda possível observar o aparecimento de um conjunto de três picos bem definidos entre os 200 e os  $250\text{cm}^{-1}$ . Assim, a obtenção de espectros com picos pouco definidos e largos significa que estamos perante grãos com uma cristalinidade mais reduzida.

Nas amostras analisadas evidenciam-se dois tipos de zircões com diferentes cristalinidades. Assim não se pode definir um grau de cristalinidade para toda a amostra, mas sim dois graus que mostram a relação de grãos pouco alterados e por isso bastante cristalinos e grãos metamorfizados e com baixa cristalinidade.

### 5.1.1. Granitos associados à ZCPT

#### 5.1.1.1. Granito de Castelo do Queijo

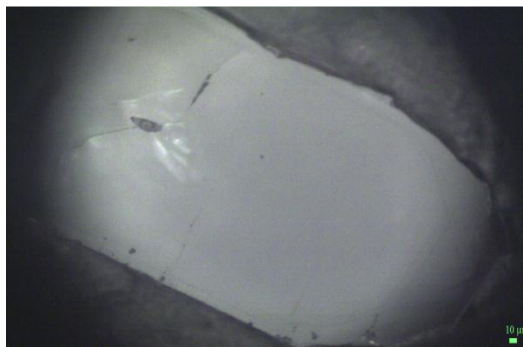


Fig.10. Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectrómetro.



Fig.11. Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectrómetro.

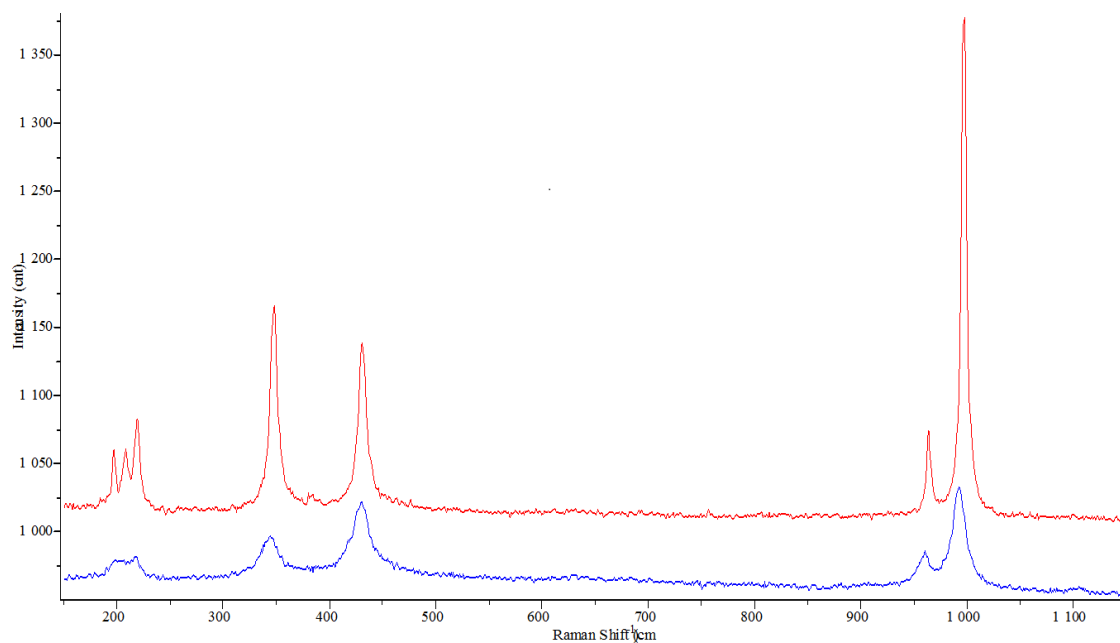


Fig.12. Espectro Raman da amostra de Castelo do Queijo (CQ1).

No espectro Raman (Fig.12) estão representados dois espectros obtidos para os zircões das Figuras 10 e 11. O espectro representado pela linha vermelha mostra que este zircão é mais cristalino pois apresenta picos mais definidos e mais estreitos, o que não acontece com o espectro azul, pois os picos apresentam uma maior largura a meia altura.

### 5.1.1.2. Granito de Lavadores

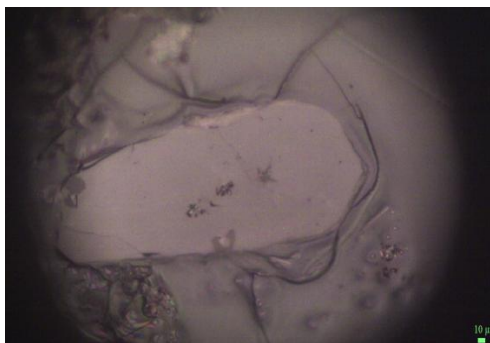


Fig.13. Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectrómetro.



Fig.14. Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectrómetro.

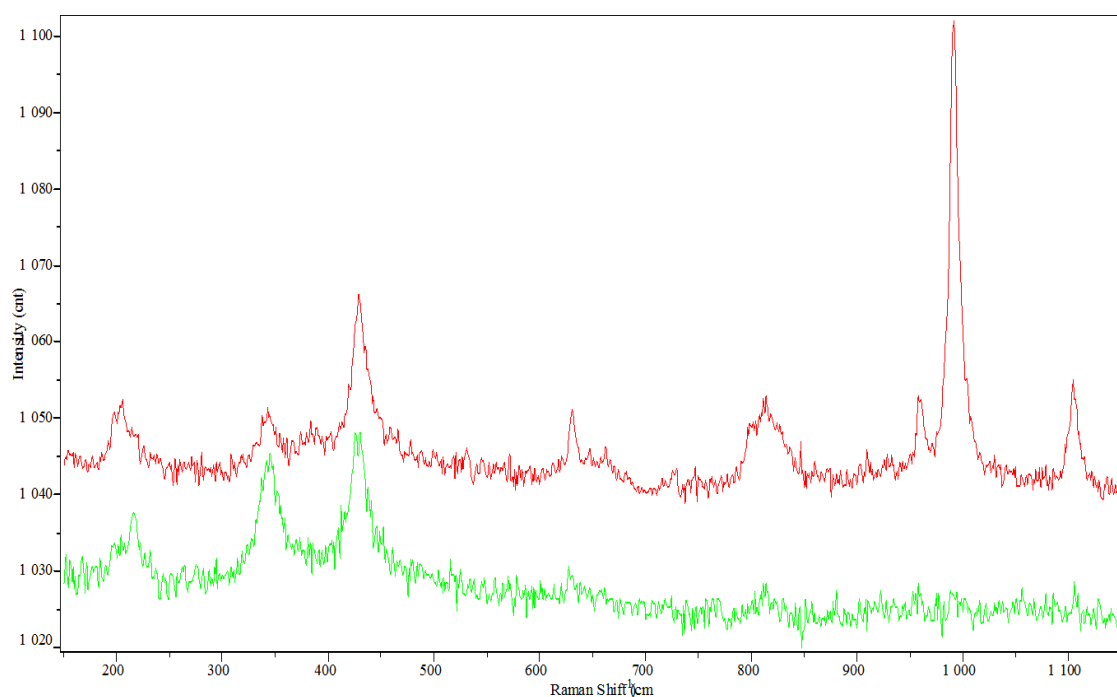


Fig.15. Espectro Raman da amostra de Lavadores (Lav5 e Lav99).

Os zircões do granito de Lavadores (Fig.13 e 14) apresentam dois tipos de cristalinidade. Segundo o espectro Raman obtido para esta amostra observa-se um zircão bastante cristalino e um zircão que apresenta um espectro onde não se evidenciam todos os picos (Fig.15).

### 5.1.1.3. Granito da Madalena

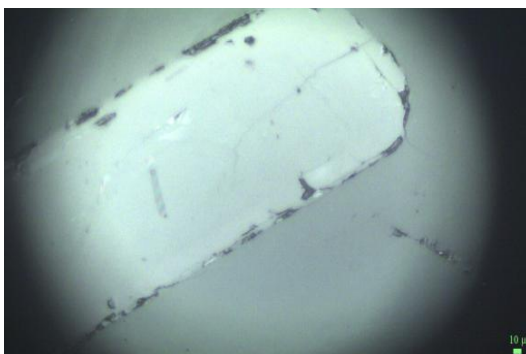


Fig.16. Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectrómetro.

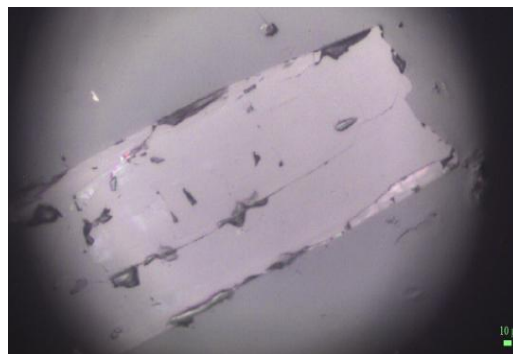


Fig.17. Imagem do zircão que apresenta a linha Azul no espectrómetro.

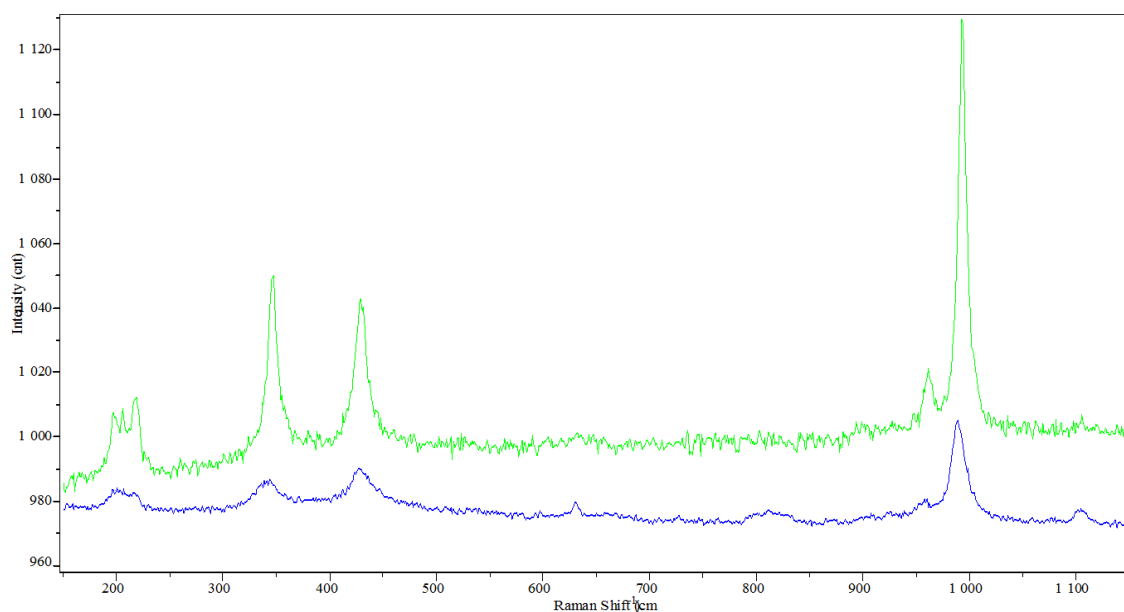


Fig18. Espectro Raman da amostra de Madalena (Lav3).

O granito da Madalena apresenta um espectro de dois zircões bastante diferentes. O zircão (Fig.16) que está representado pela linha verde é bastante cristalino, o que não acontece com o zircão representado pela linha azul (Fig.17). O zircão (Fig.17) apresenta na zona dos  $1000\text{ cm}^{-1}$ , dois picos não são individualizados, estes estão unidos por uma banda que se criou nessa zona devido a alterações da rede cristalina, como se evidencia no espectro raman (Fig.18).

## 5.1.2. Granitos associados à ZCVR (Maciço de Vieira do Minho)

### 5.1.2.1. Granito de Vieira do Minho



Fig.19. Imagem do zircão que apresenta a linha azul-escura no espectro.

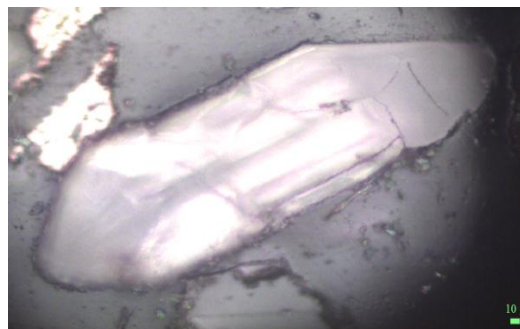


Fig.20. Imagem do zircão que apresenta a linha azul-turquesa no espectro.

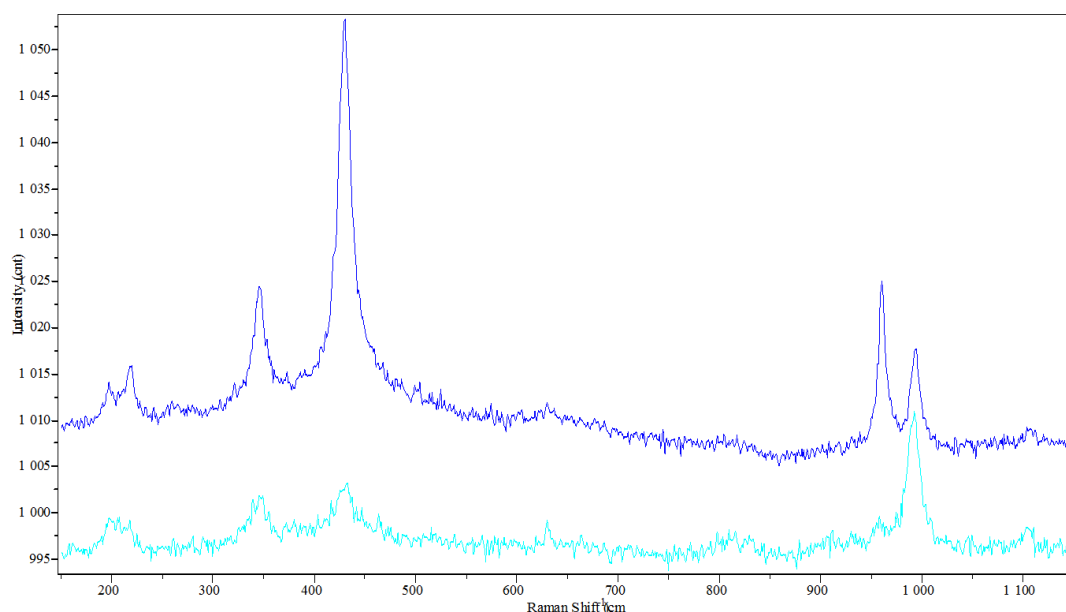


Fig.21. Espectro Raman da amostra de Vieira do Minho (60-30).

No Granito de Vieira do Minho observa-se o zircão da Figura 19 com um espectro bastante definido e com picos estreitos, o que significa que este é bastante cristalino (Fig.21). O zircão da Figura 20 evidência na zona 1000cm<sup>-1</sup> a existência de uma banda que une os dois picos característicos desta zona (Fig.21).

### 5.1.2.2. Granito de Moreira de Rei

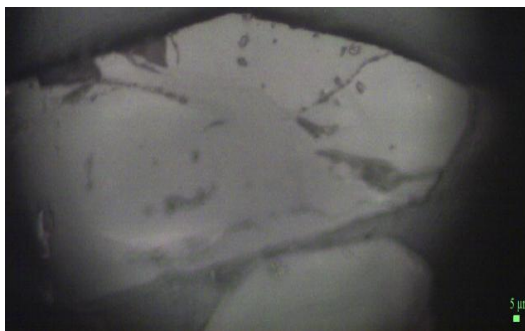


Fig.22. Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectro.

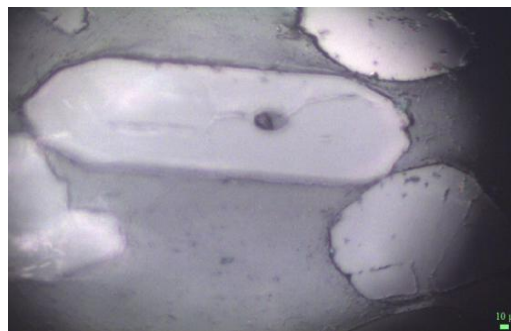


Fig.23. Imagem do zircão que apresenta a linha rosa no espectro.

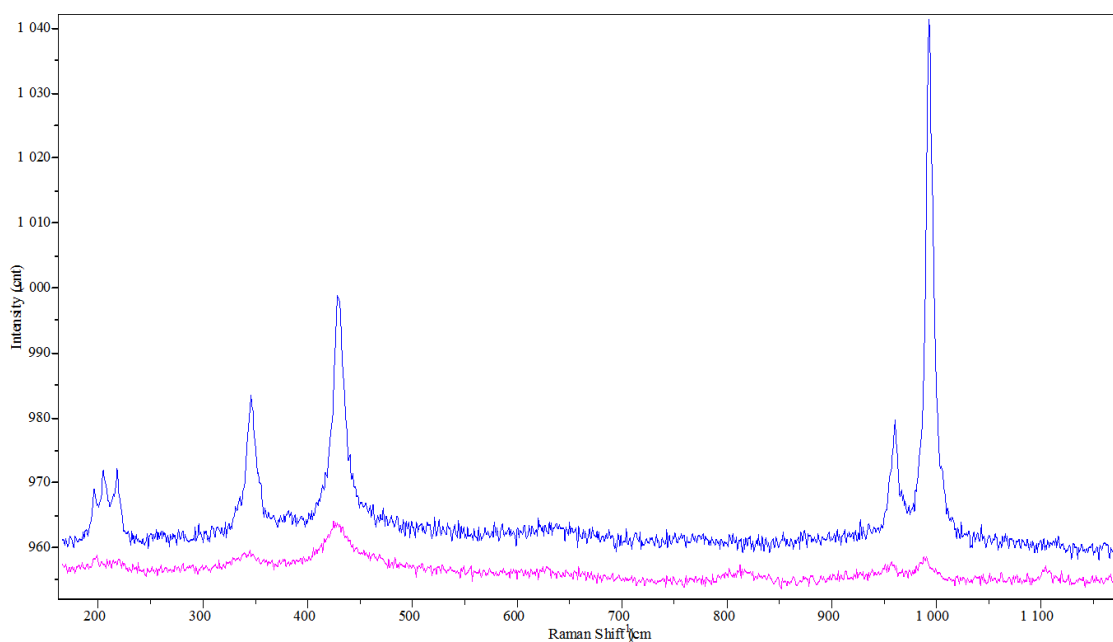


Fig.24. Espectro Raman da amostra de Moreira de Rei (60-29).

O Granito de Moreira de Rei apresenta um espectro para o zircão da Figura 22 bastante cristalino (Fig.24), enquanto o zircão da Figura 23 apresenta um espectro com picos pouco definidos, sendo um zircão menos cristalino (Fig.24).



### 5.1.3. Granitos associados à ZFPRV (Maciço de Vila Pouca de Aguiar)

#### 5.1.3.1. Granito de Vila Pouca de Aguiar

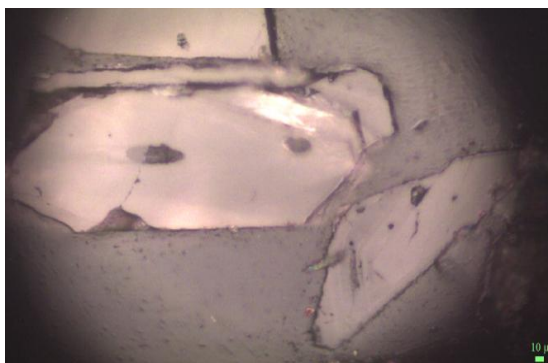


Fig.25. Imagem do zircão que apresenta a linha vermelha no espectro.

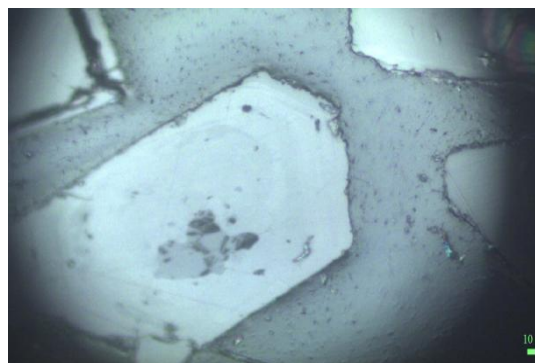


Fig.26. Imagem do zircão que apresenta a linha verde no espectro.

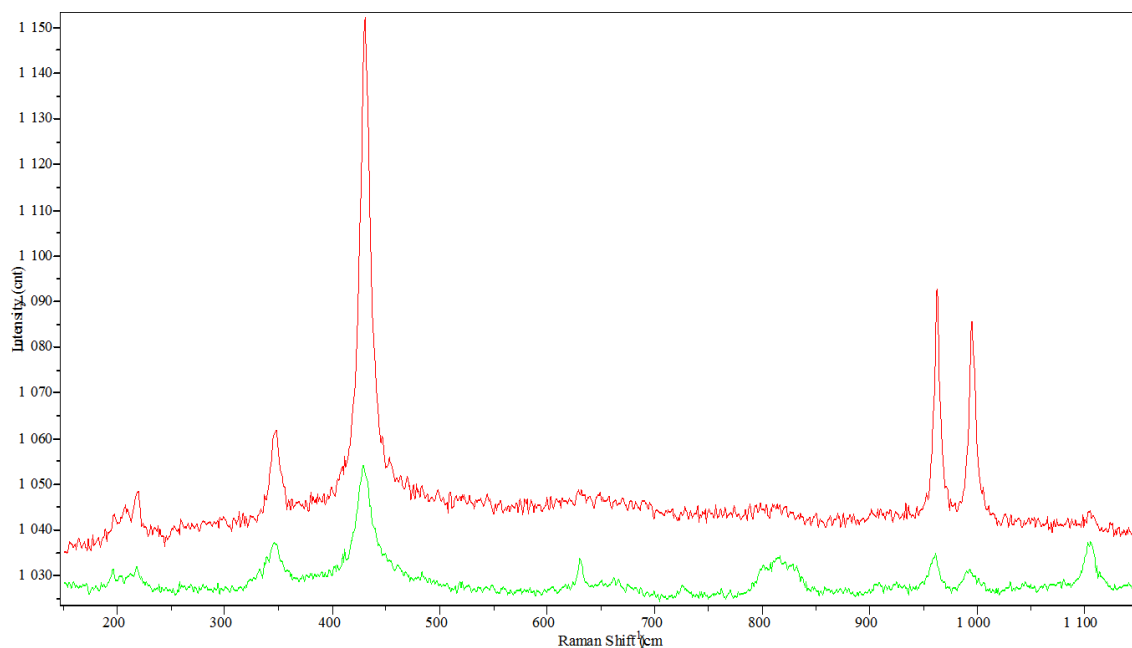


Fig.27. Espectro Raman da amostra de Vila Pouca de Aguiar (60-12).

O granito de Vila Pouca de Aguiar apresenta para os zircões mais cristalinos (Fig.25) um espectro com picos bem definidos e bastante estreitos (Fig.27). Para o zircão menos cristalino (Fig.26) apresenta um espectro com picos com maior largura a meia altura (Fig.27).

### 5.1.3.2. Granito de Pedras salgadas

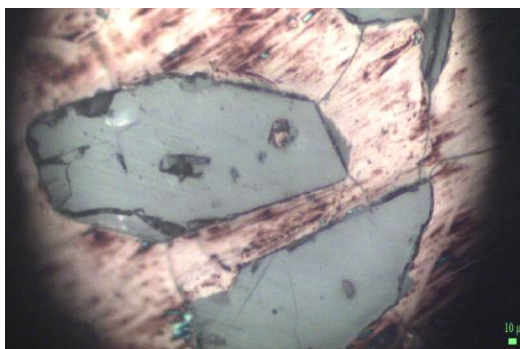


Fig.28. Imagem do zircão que apresenta a linha rosa no espectrómetro.

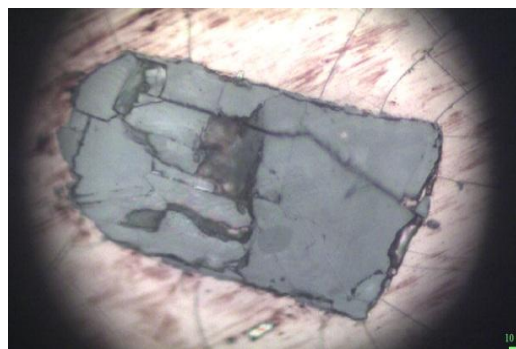


Fig.29. Imagem do zircão que apresenta a linha azul no espectrómetro.

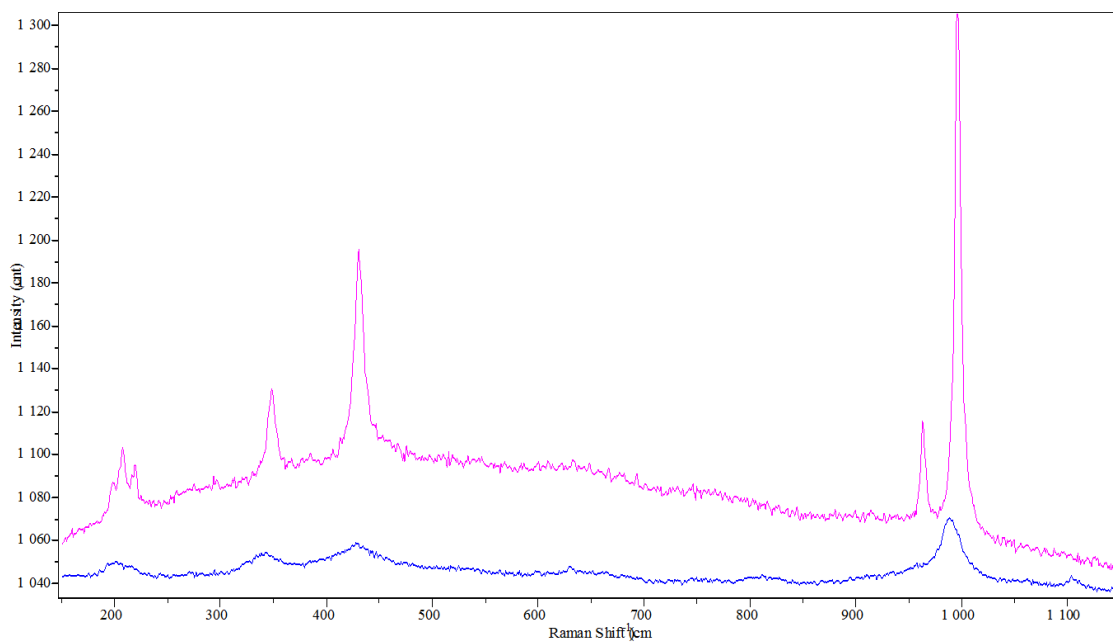


Fig.30. Espectro Raman da amostra de Pedras Salgadas (60-18).

Observa-se no espectro do zircão da Figura 28 uma zona de banda juntamente com os picos característicos destes minerais (Fig.30). O espectro do zircão menos cristalino (Fig.29) mostra que os picos deram lugar a bandas (Fig.30).

## 5.2. Estrutura Interna

O Zircão é um mineral extremamente variável tanto na morfologia externa, com interna. Esta característica reflete a história geológica deste mineral, especialmente em episódios magmáticos, metamórficos e de recristalização relevantes, deformações impostas tanto por forças externas e pela expansão de volume interno causado por mectamitização e alteração química (Corfu, et al., 2003).

Os estudos da estrutura interna de zircões têm-se revelado um complemento em vários estudos. Por exemplo os estudos geocronológicos fazem-se acompanhar do estudo de estrutura interna no MEV, pois é necessário saber se existem núcleos herdados, uma vez que a presença destes núcleos impede a medida precisa da idade da cristalização magmática, podendo mesmo obter-se uma idade sem qualquer significado geológico. Além desta aplicação as estruturas internas podem dar informações importantes relativamente a fases de cristalização magmática.

Os zircões dos granitos estudados apresentam no geral um zonamento magmático oscilatório, que pode ser atribuído quer ao grau de saturação quer à incorporação de elementos traço (Hoskin & Schaltegger, 2003).

O estudo morfológico de zircões revelou que o granito de Castelo do Queijo apresenta zircões com zonamentos nebulíticos na zona central e zonamentos oscilatórios magmáticos finos na periferia do grão (Estampa I). O granito de Lavadores apresenta zonamentos nebulíticos na zona central, e zonamentos magmáticos finos a grossos (Estampa II). Os zonamentos observados nos grãos de zircão do granito de Madalena são semelhantes aos de Lavadores. Estes granitos apresentam várias inclusões de melt e algumas apatites (Estampa III).

O granito de Vieira do Minho e Moreira de Rei apresentam zonamentos idênticos nos seus grãos de zircão. Na zona central encontram-se o zonamento nebulítico, que por vezes marca todo o grão. Os zonamentos magmáticos apresentam-se finos a grossos e por vezes são bastante tênues, não mostrando aquela espetacularidade. Este grupo apresenta menos inclusões nos grãos, mas por sua vez, alguns, encontram-se bastante fraturados (Estampa IV e Estampa V).

Os grãos de zircão para o granito de Vila Pouca de Aguiar apresentam-se na zona central um zonamento nebulítico, que é acompanhado na zona mais periférica do grão por um zonamento magmático fino, por vezes fortemente marcado (Estampa VI).

Este granito apresenta algumas inclusões que podem corresponder a melt e apatite, e alguma fracturação. Relativamente ao granito de Pedras Salgadas observa-se zonamentos fortemente marcados e desenvolvidos. Estes grãos apresentam uma zona central nebulítica, que pode ser reduzida, e uma zona periférica bastante zonada (Estampa VII). Neste granito observa-se pequenas inclusões e uma fracturação que por vezes é intensa.

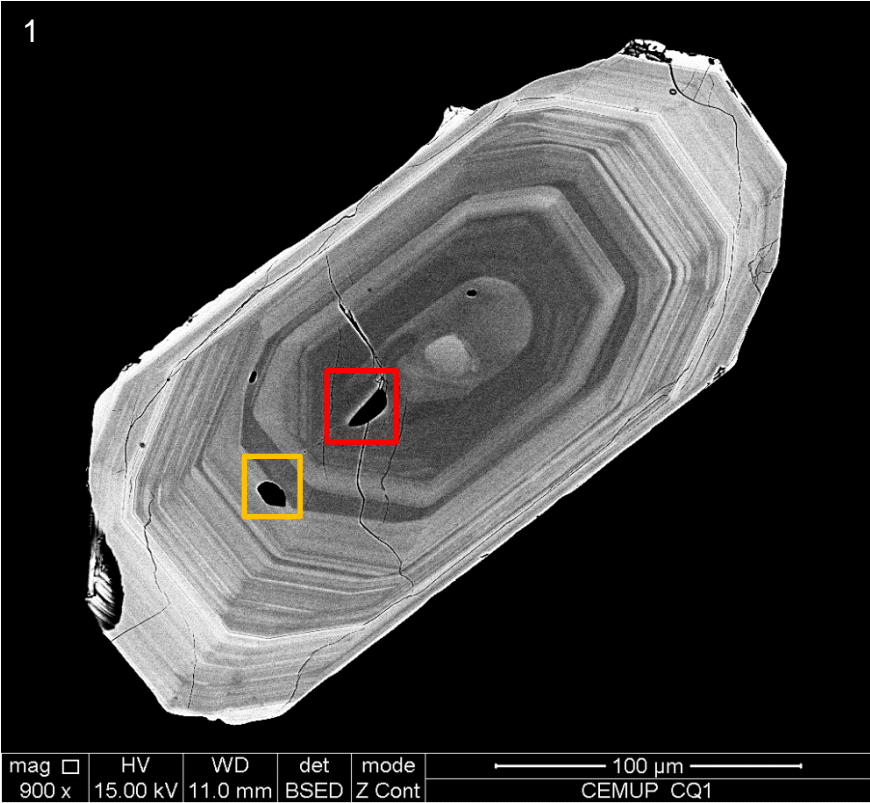
## **Estampa I**

### ***Zircões do Granito de Castelo do Queijo (CQ1)***

Microfotografias ao Microscópio Eletrónico

1 - Zircão prismático com zonamento nebulítico central e um zonamento magmático bem formado e bastante perfeito. A zona central sugere uma zona de nucleação. Observam-se duas inclusões, uma de melt (quadrado vermelho) e uma de apatite (quadrado amarelo).

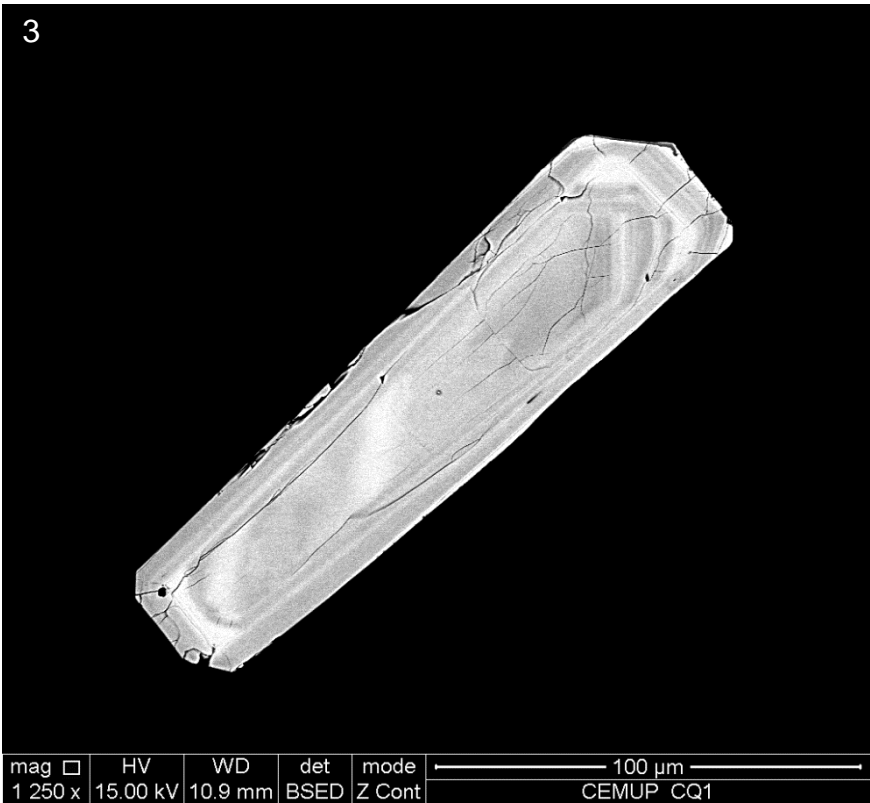
2 - Zircão lamelar assimétrico com zonamento muito ténue, apresentando duas fases de crescimento. Zona central apresenta um zonamento nebulítico acompanhado de fracturação. As pirâmides apresentam zonamento mais definido. Inclusões de melt.



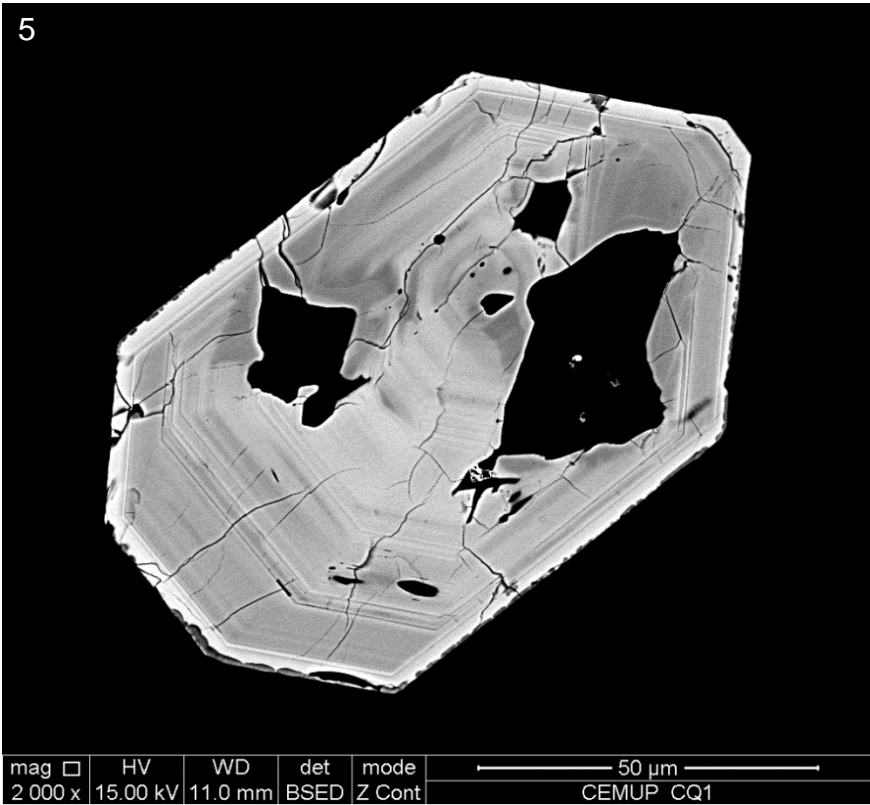
3 - Zircão prismático com duas fases de crescimento. Apresenta um zonamento nebulítico central acompanhado de um zonamento bastante ténue nas extremidades do grão minerais.

4 - Zircão prismático com zonamento central bastante escuro e um zonamento exterior mais claro. É marcado por duas fases de crescimento. Observam-se bastantes inclusões na pirâmide superior.





5 - Zircão lamelar assimétrico, com bastantes inclusões, zonamento bem definido e fracturação intensa por todo o grão. E pirâmide {101} truncada.





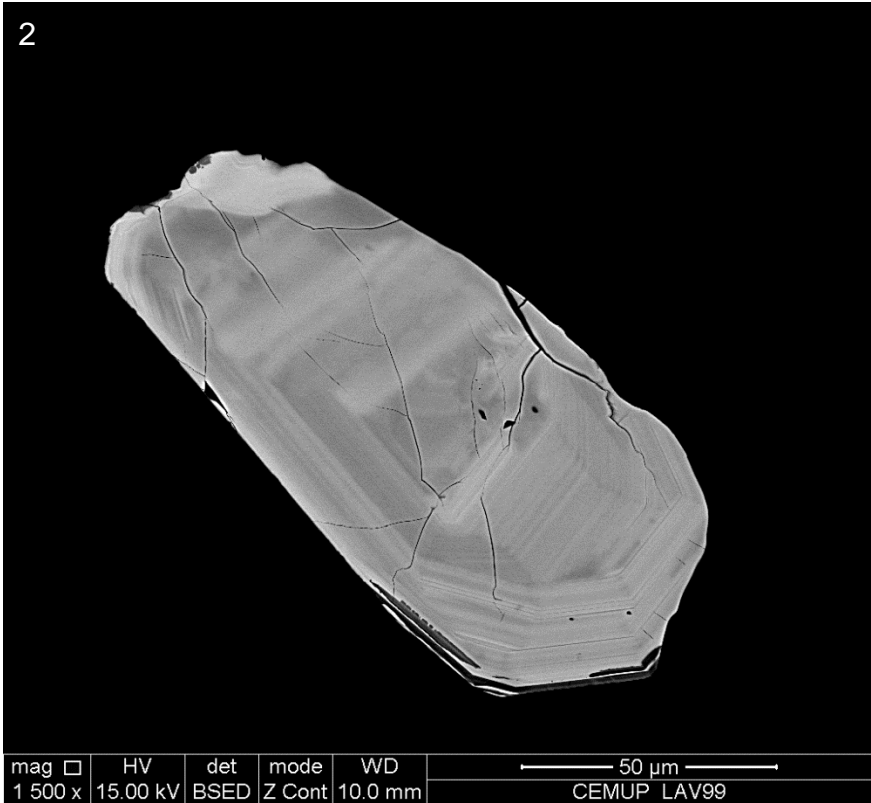
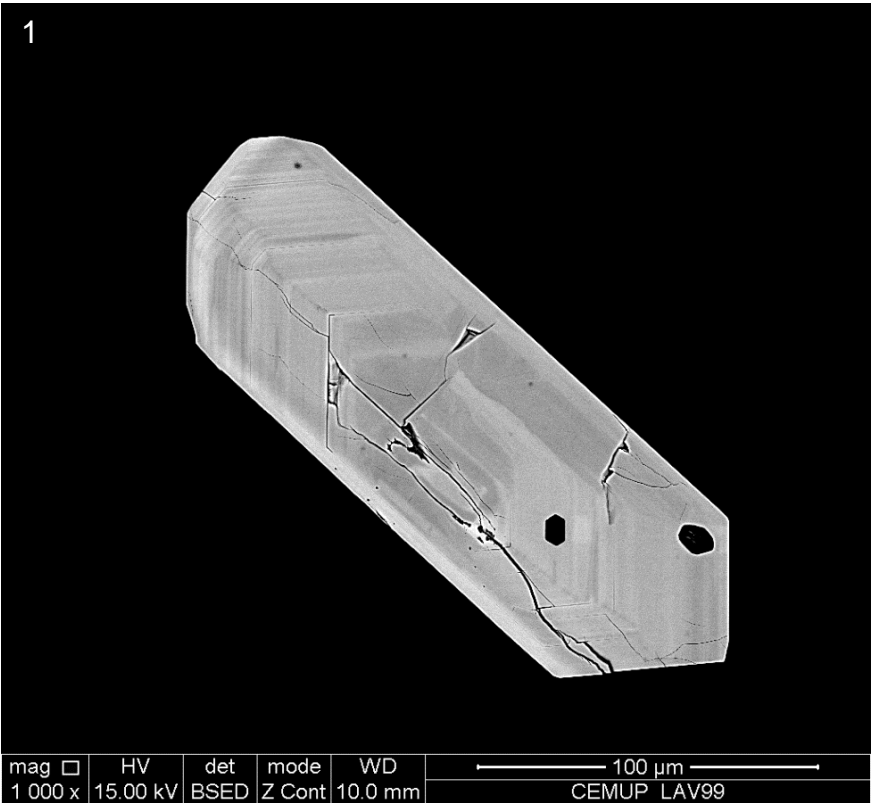
## **Estampa II**

### ***Zircões do Granito de Lavadores (LAV5 e LAV99)***

Microfotografias ao Microscópio Eletrónico

1 – Zircão prismático com zonamento bem evidenciado desde o núcleo até aos bordos. Zonamento evidencia uma cristalização gradual devido á intensidade dos diferentes zonamentos. Apresenta, por sua vez, inclusão de apatite e fracturação bem marcada.

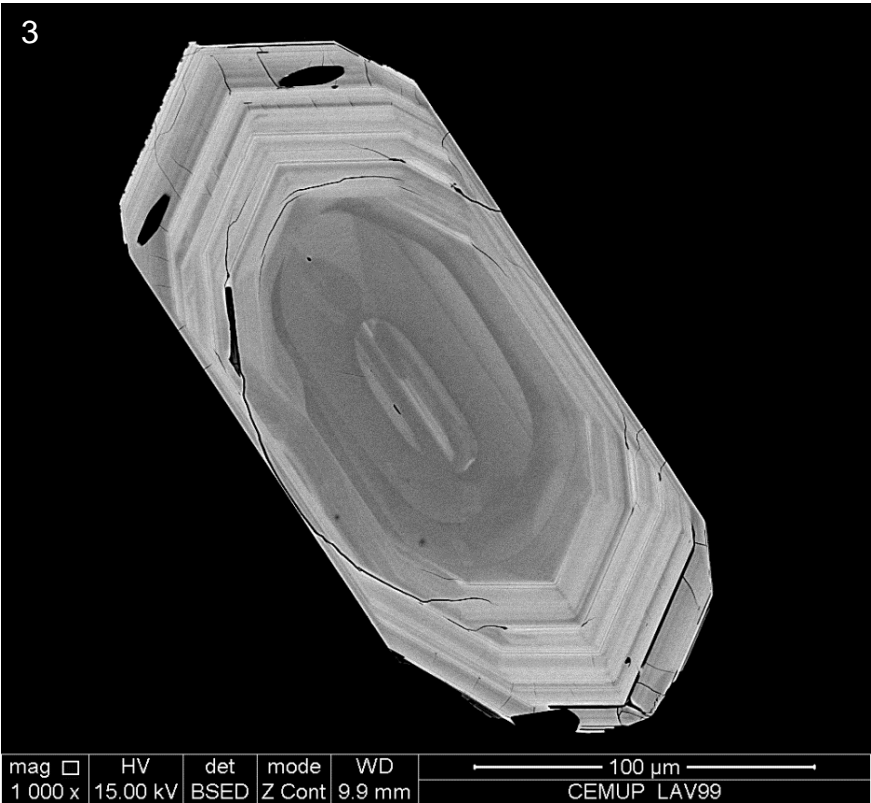
2 - Zircão prismático com as pirâmides bastante desgastadas. Apresenta um zonamento central nebulítico e um zonamento desde o núcleo até a periferia bastante acentuado. Pode-se atribuir 3 fases de crescimento a este zircão, a primeira corresponde ao centro nebulítico, segunda fase corresponde a um zonamento ténue com diferentes tamanhos de zonas, e a última corresponde ao zonamento mais periférico que é bastante marcado.



3 - Zircão prismático, com zonamento nebulítico central, zonamento bem marcado a partir do zonamento central para o exterior do mineral que marca um crescimento gradual. Apresenta inclusões de apatite.

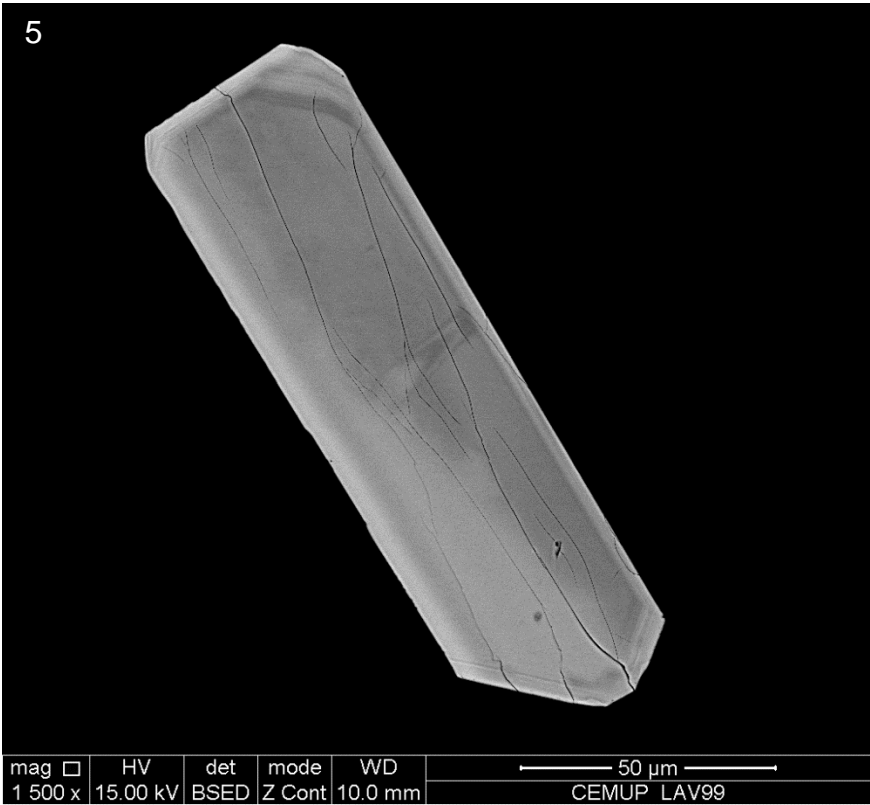
4 - Zircão prismático com zonamento nebulítico central heterogêneo e zonamento bem evidenciado que vai até aos bordos do mineral. Observando-se assim duas fases distintas de crescimento deste mineral.





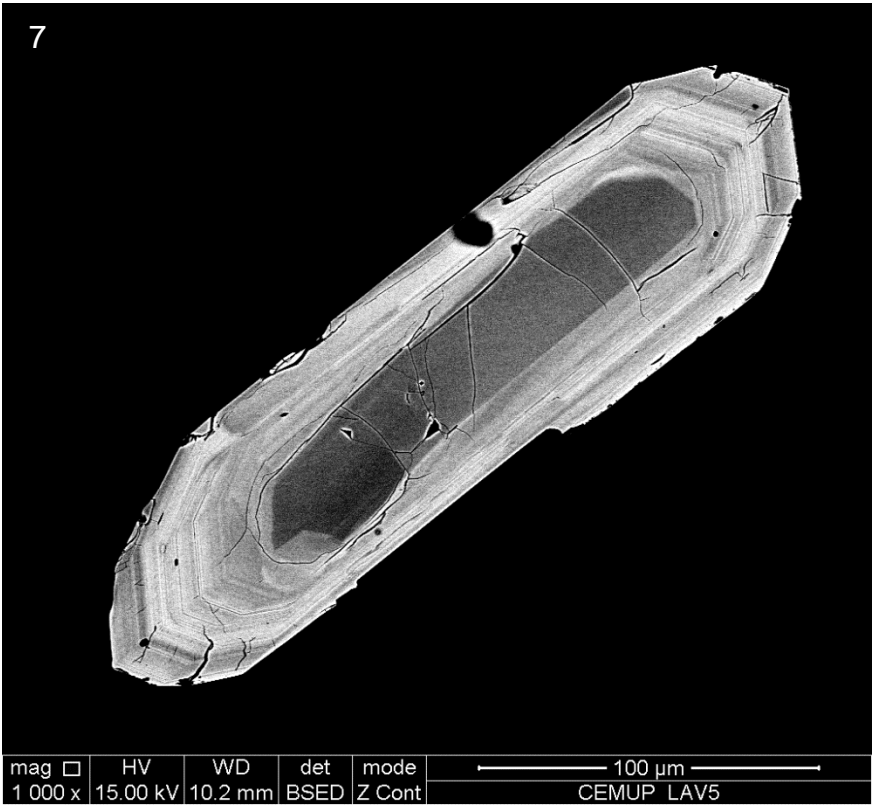
5 - Zircão lamelar com zonamento nebulítico acompanhado de um zonamento ténue nos bordos. Apresenta fracturação que acompanha todo o zircão.

6 - Zircão prismático com zonamento nebulítico e uma fracturação ao longo de todo o grão mineral. Esta zona nebulítica situa-se essencialmente no centro, nos bordos os prismas e pirâmides estão zonadas. Observa-se uma excrescência de zircão, bem como inclusões de melt.



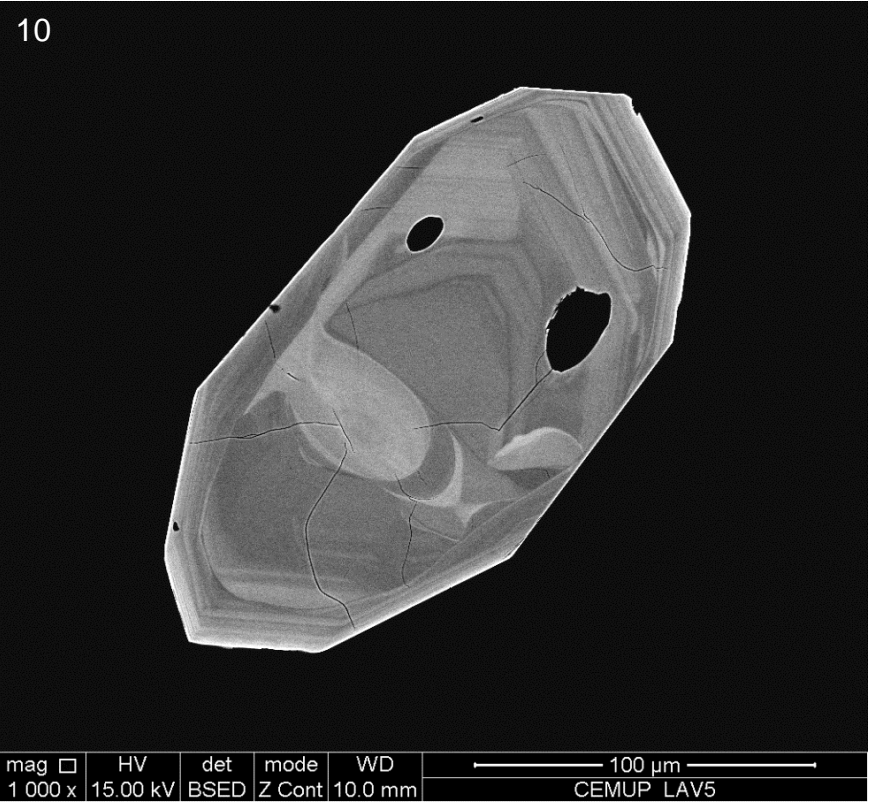
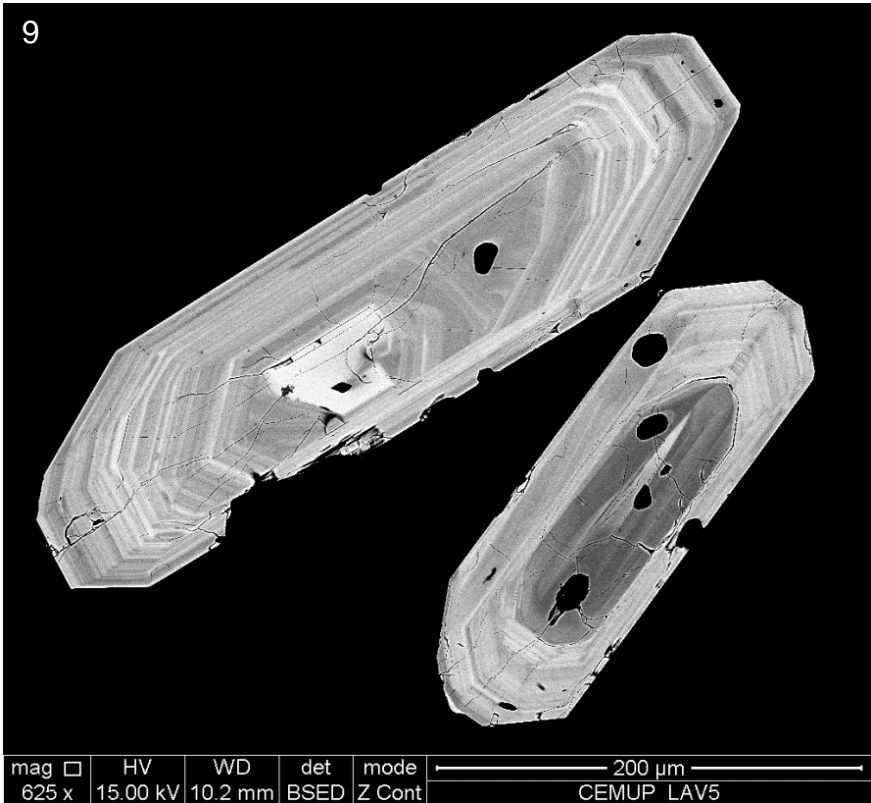
7 - Zircão prismático com 2 fases de crescimento. Observa-se uma zona mais escura, que corresponde a uma zona nebulítica, e uma zona mais clara que corresponde a um zonamento intenso. Apresenta no seu bordo direito uma excrescência.

8 – Zircão prismático com duas fases de crescimento. Zona escura apresenta um zonamento nebulítico e a zona clara apresenta zonamento mais marcado. As inclusões presentes neste grão correspondem a melt.



9 - Observação do mineral 8 (acima descrito), juntamente com um novo zircão prismático. Este apresenta, por sua vez, duas fases de crescimento iguais ao do mineral anterior. Exceptuando-se a zona mais zonada, que é maior e mais intensa. Observa-se, ainda, inclusões de melt.

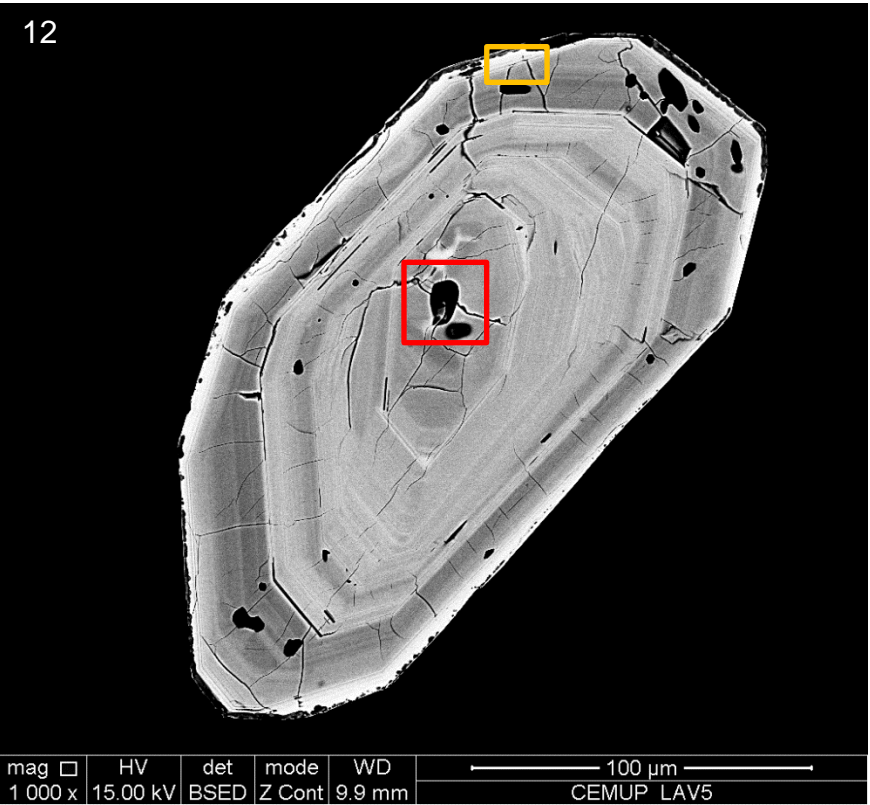
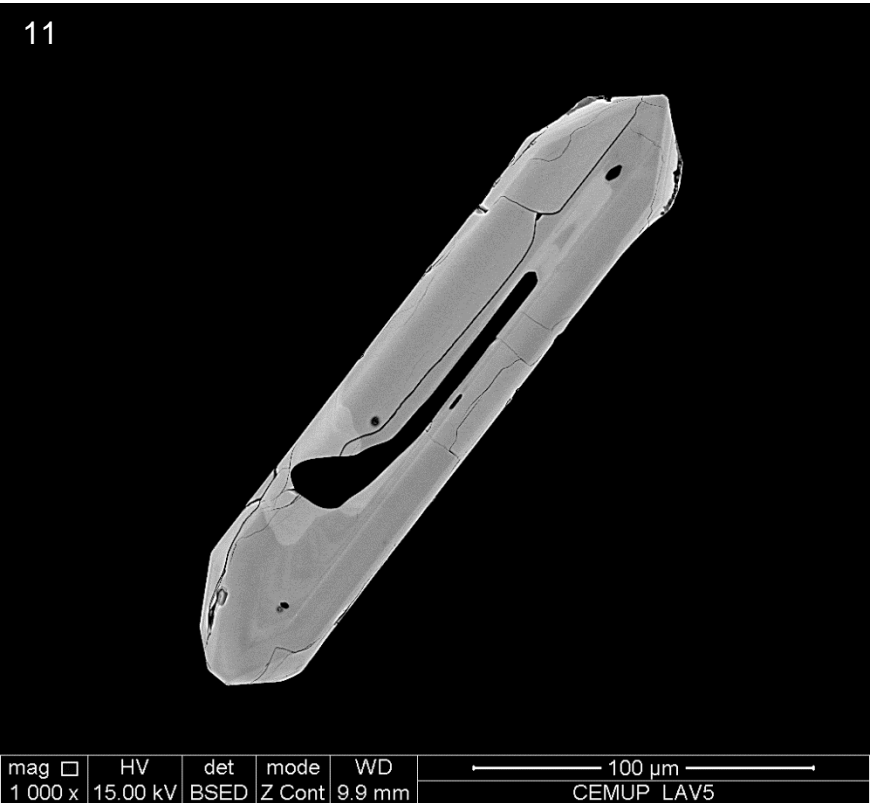
10- Zircão prismático com zonamento nebulítico central. Este mineral apresenta zonas mais brilhantes, que correspondem a zonas onde a reabsorção do zircão foi mais intensa.



11 - Zircão acicular com inclusão central, apresenta um zonamento muito ténue. É possível observar que esta inclusão apresenta um certo zonamento, que ao ser analisado verificou-se que as zonas mais claras correspondem a Si e O, enquanto, que as mais escuras são zonas de indefinidas ricas em vários elementos, ou seja, melt (Si, Al, Ca, Mg, K, Fe, Na).

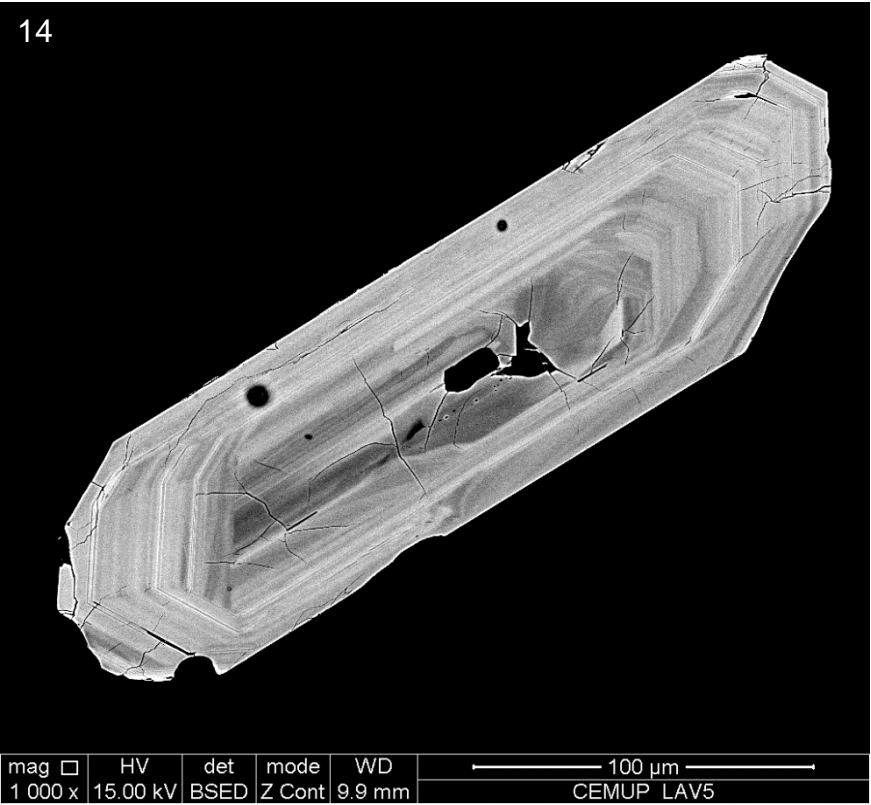
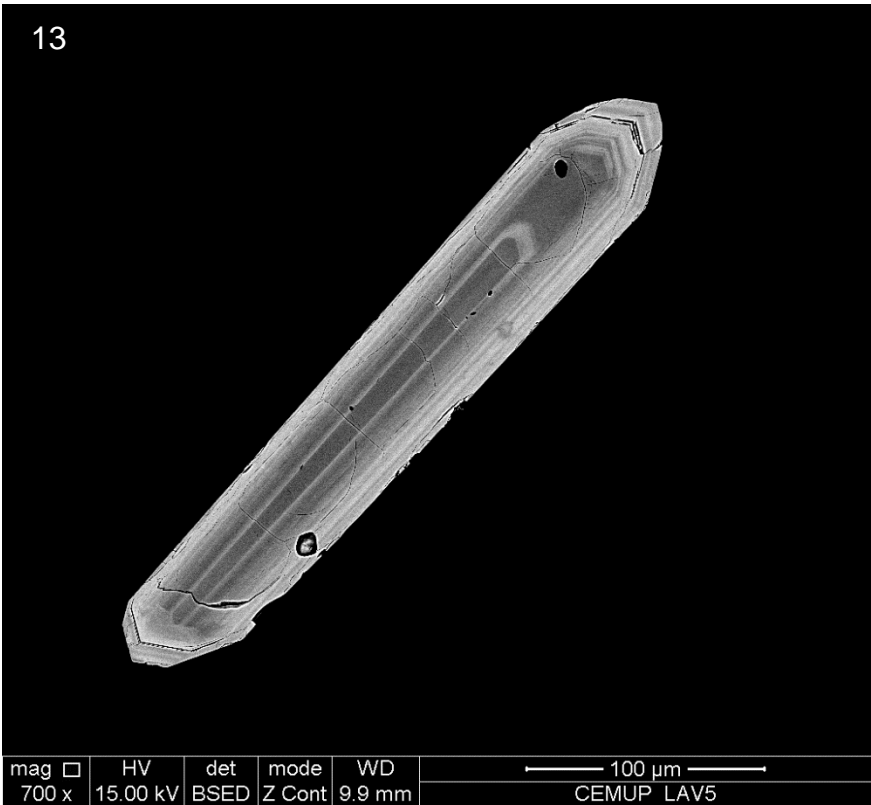
12 - Zircão prismático com zonamento bem marcado, verificando-se 2 fases de crescimento deste mineral. Na zona central observa-se um zonamento com uma “direção “ diferente do resto do zonamento do grão, poderá ser um núcleo herdado. Apresenta inclusões de apatite (assinalado amarelo), cristalograficamente perfeitas, e inclusões de melt (assinalado a vermelho), que são as mais redondas.





13 - Zircão acicular, com um zonamento ténue. Observa-se uma inclusão na pirâmide superior que corresponde a melt. As inclusões mais pequenas no centro do grão apresentam os elementos Na, Al e Si.

14 - Zircão prismático com zonamento bem definido, que evidencia ter 2 fases de crescimento. A primeira apresenta um zonamento nebulítico que se apresenta truncado na pirâmide inferior.





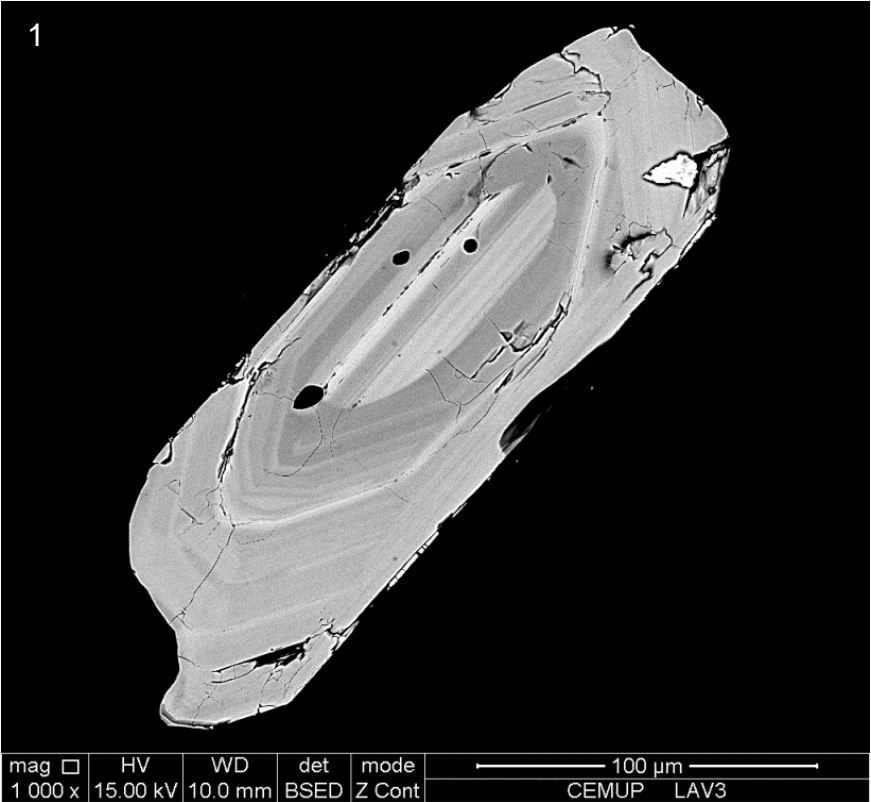
## **Estampa III**

### ***Zircões do Granito de Madalena (LAV3)***

Microfotografias ao Microscópio Eletrónico

1 - Zircão prismático com 3 fases de crescimento. Apresenta um núcleo central com zonamento bem definido, seguindo de uma fase onde o zonamento é mais ténue a última fase corresponde a um zonamento mais alargado. Observam-se ainda inclusões de apatite.

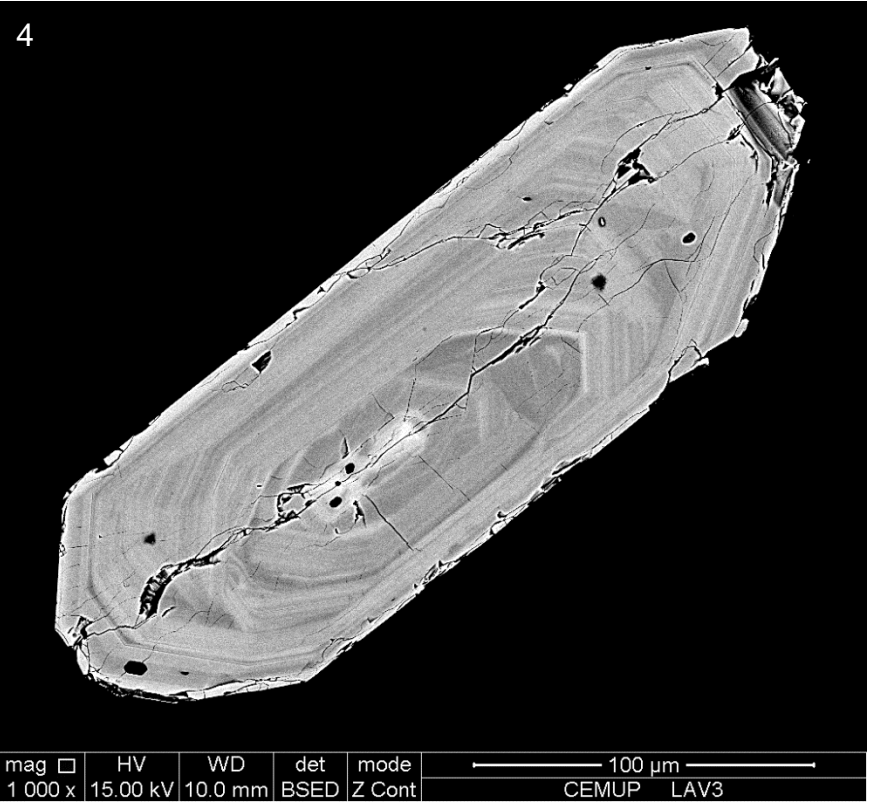
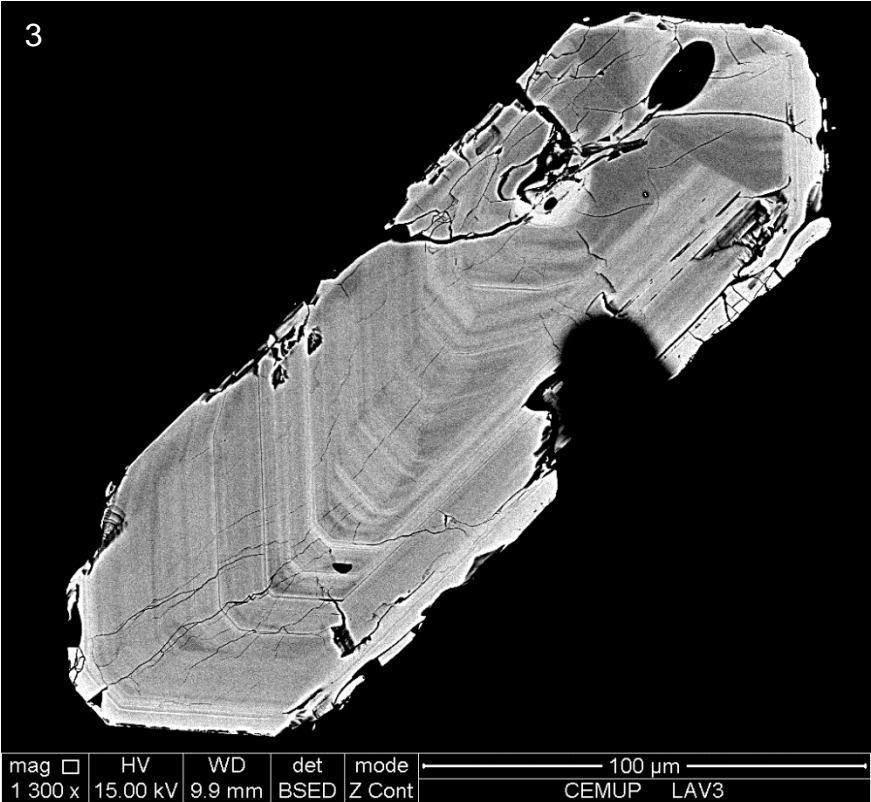
2 - Zircão prismático com fases de crescimento. As suas fases de zonamento variam de nebulíticos a zonados em cada fase de crescimento.



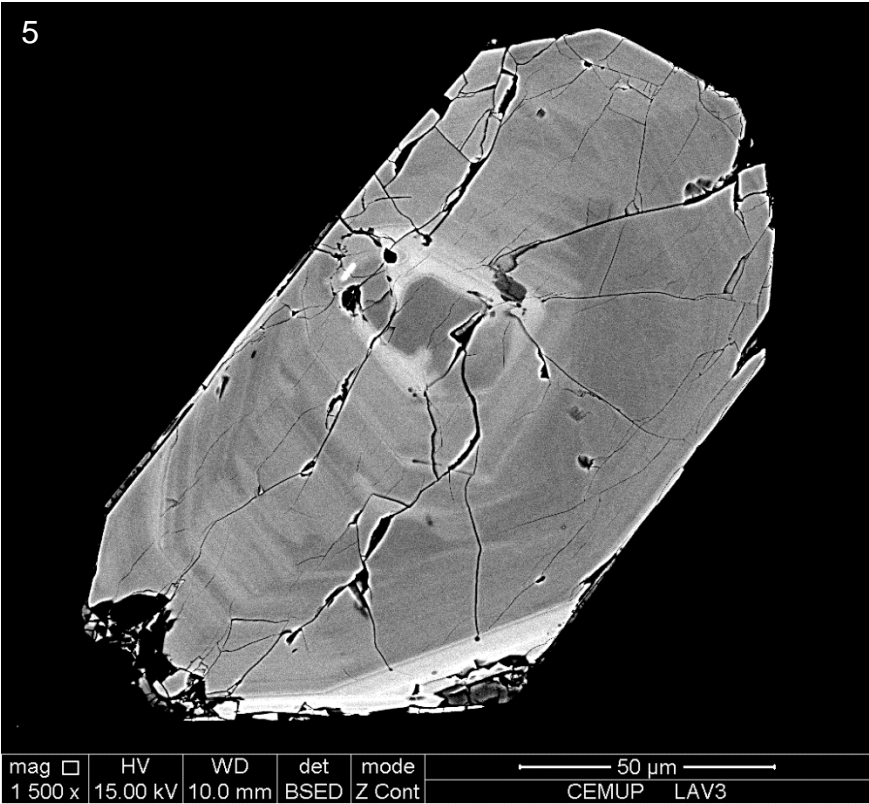
3 - Zircão prismático com zonamento fino, bem definido exceptuando a pirâmide superior onde se observa um zonamento nebulítico. Apresenta inclusões de melt.

4 - Zircão prismático com zonamento bem definido. Este mineral é marcado por várias fases de crescimento devido a diferença de zonamentos que se observam. Neste grão a zona interior do grão sugere fenómeno de nucleação. Apresenta inclusões de apatite, bem definidas, nas zonas das pirâmides, sendo as restantes (mais arredondadas) inclusões de melt.





5 - Zircão lamelar apresenta um zonamento nebulítico central, e um zonamento ténue no restante grão. Segundo a disposição do zonamento, este mineral apresenta ter 3 fases de crescimento, e a zona central sugere fenómeno de nucleação.





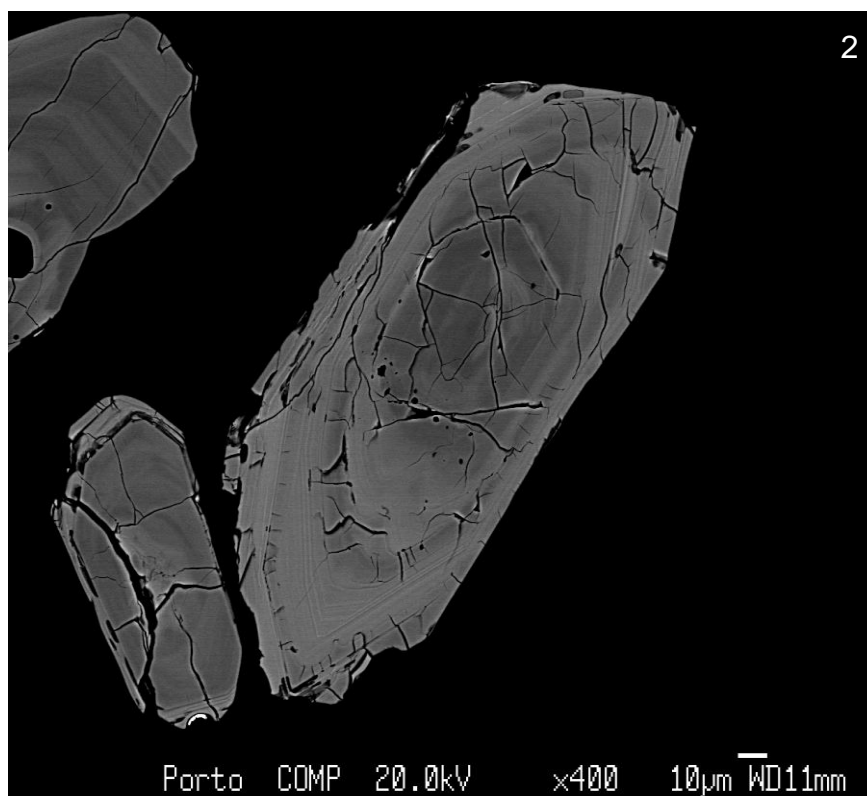
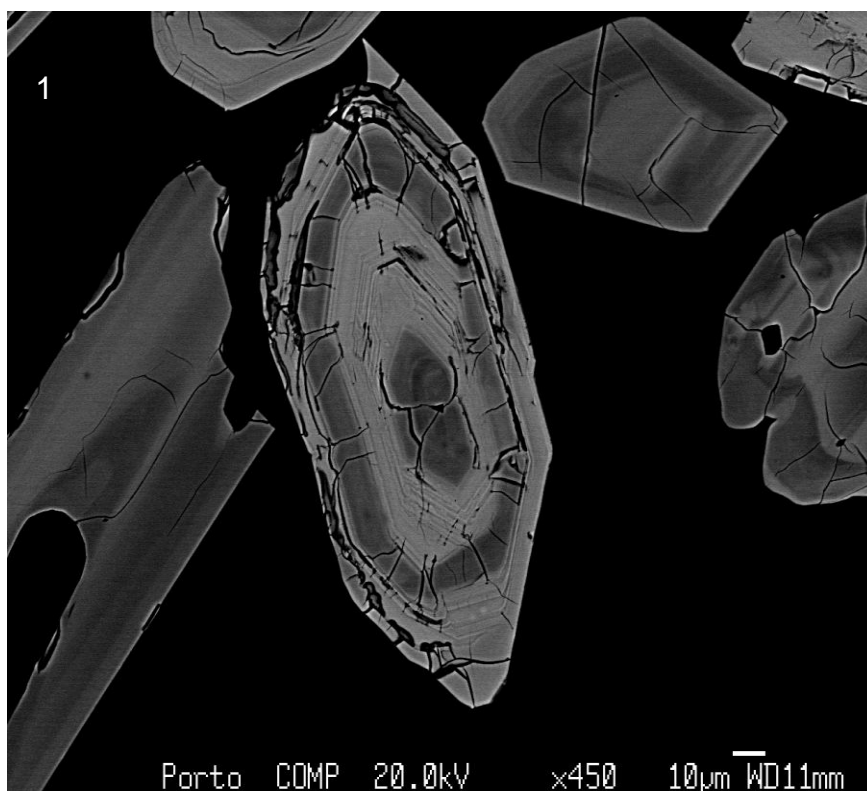
## **Estampa IV**

### ***Zircões do Granito de Vieira do Minho (VM 60-30)***

Microfotografias à Microsonda Eletrónica

1 - Zircão prismático com fracturação intensa. Apresenta um zonamento magmático com zonas bastantes desenvolvidas e um núcleo tipicamente nebulítico. Observa-se uma fracturação intensa sobre todo grão, nomeadamente na zona central e mais externa do grão.

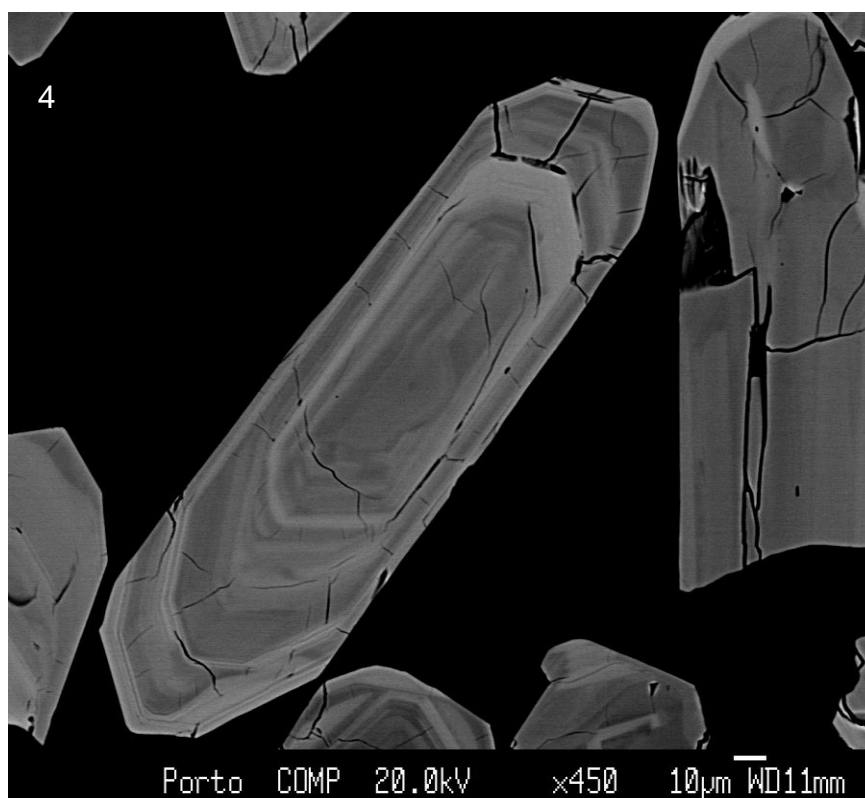
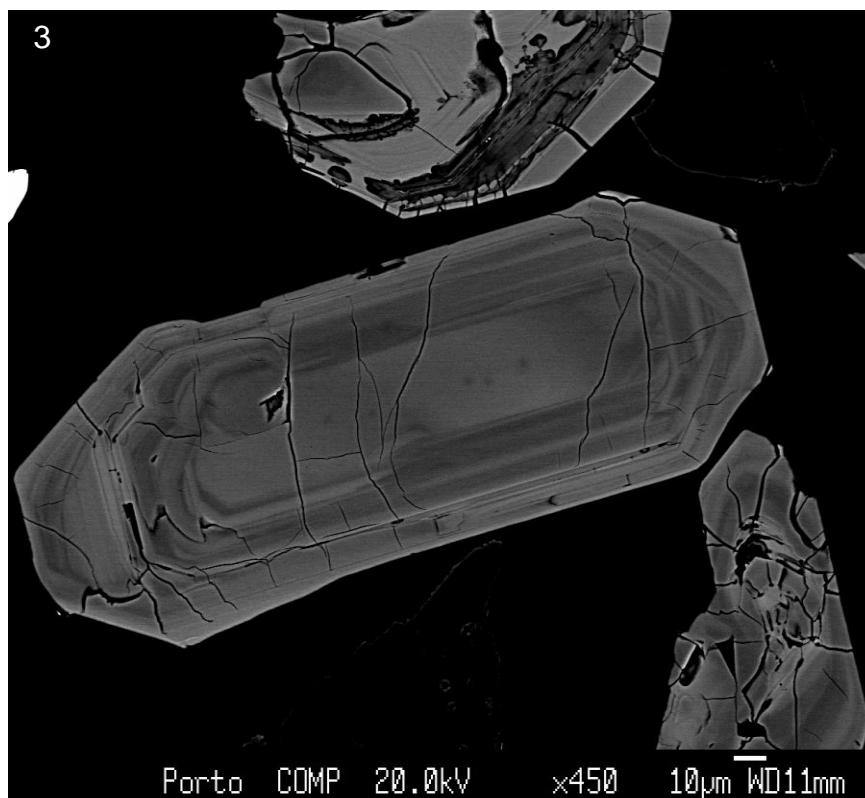
2 – Zircão prismático com zonamento magmático bastante ténue e fracturação intensa na zona central. Observam-se pequenas inclusões no seio do zircão.



3 – Zircão prismático com zonamento nebulítico na zona central e zonamento magmático, podem-se definir 3 fases de formação consoante a morfologia interna observada. Fracturação dispersa por todo o grão.

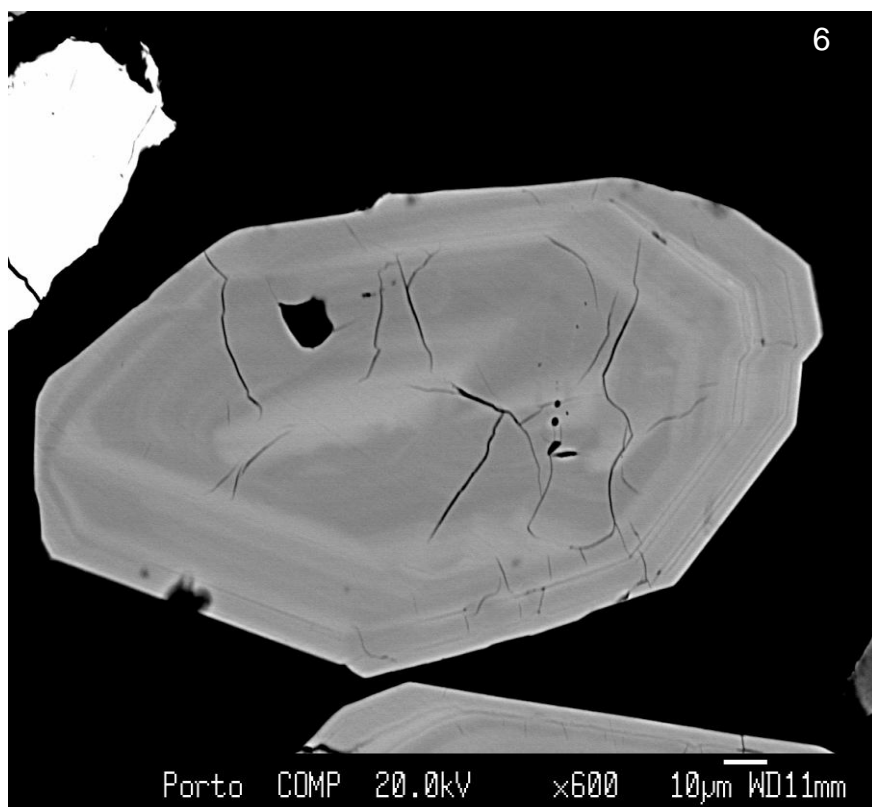
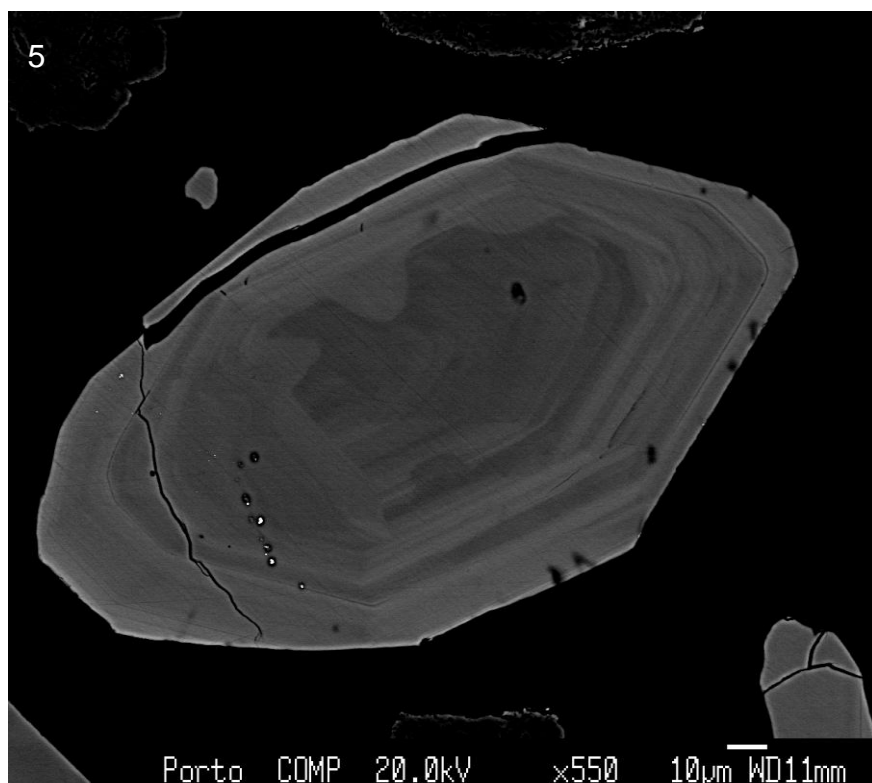
4 – Zircão prismático com zonamento magmático bem definido, núcleo com zonamento nebulítico (sugere zonas de reabsorção).



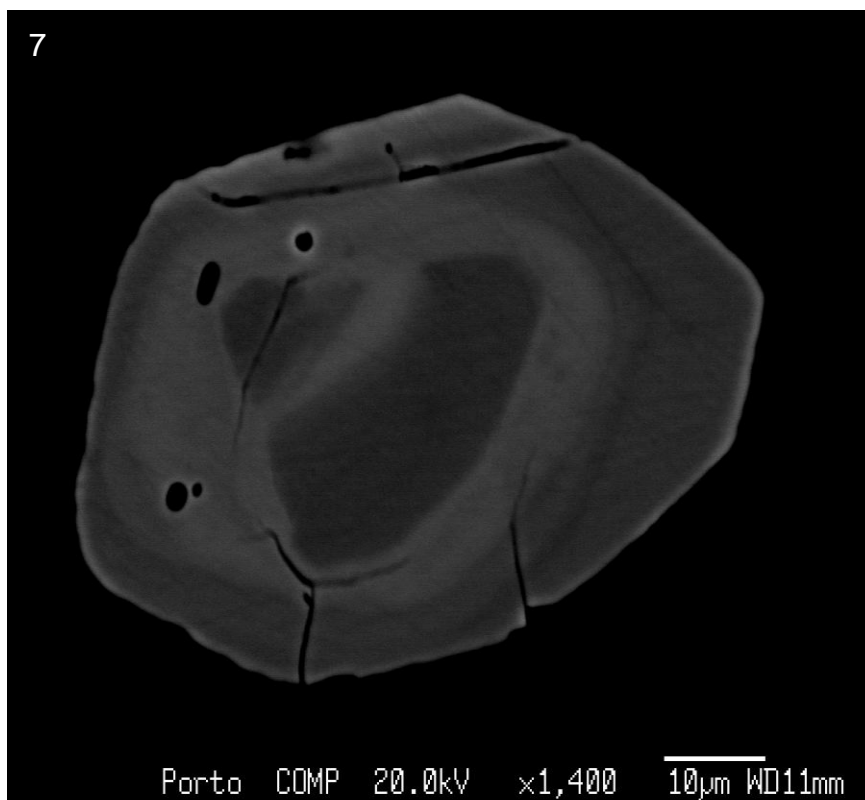


5 – Zircão lamelar apresenta um núcleo nebulítico com uma passagem tênue para o zonamento magmático. Observam-se pequenas inclusões no seio do mineral.

6 - Zircão lamelar com zonamento nebulítico na zona do núcleo e zonamento magmático tênue na zona da orla. Apresenta inclusões na zona central.



7 - Zircão lamelar com estrutura de zonamento difusa e apresenta inclusões.





## **Estampa V**

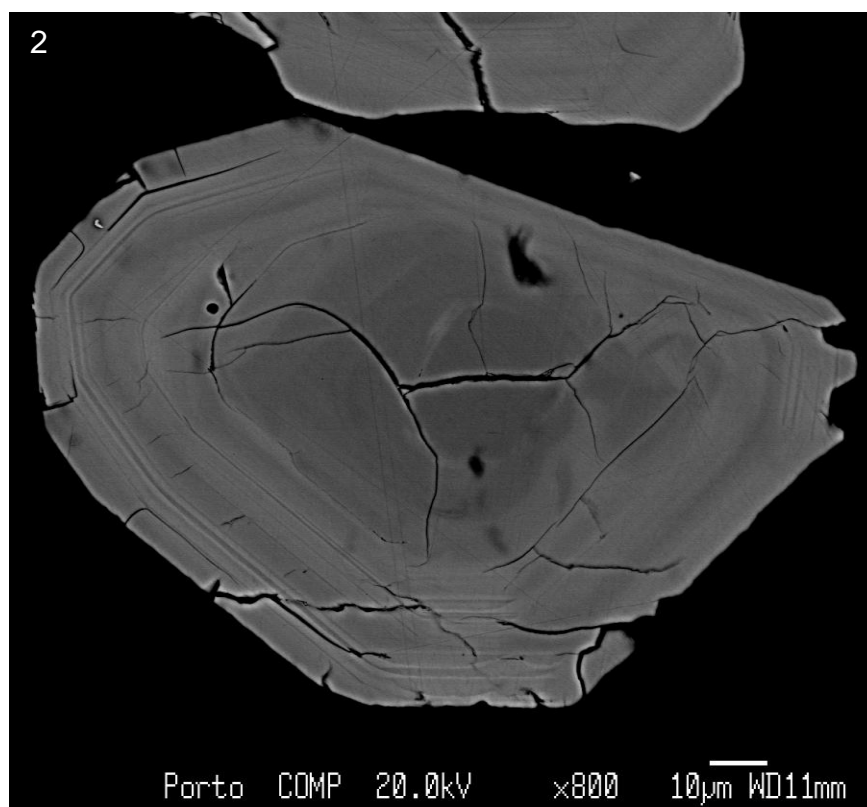
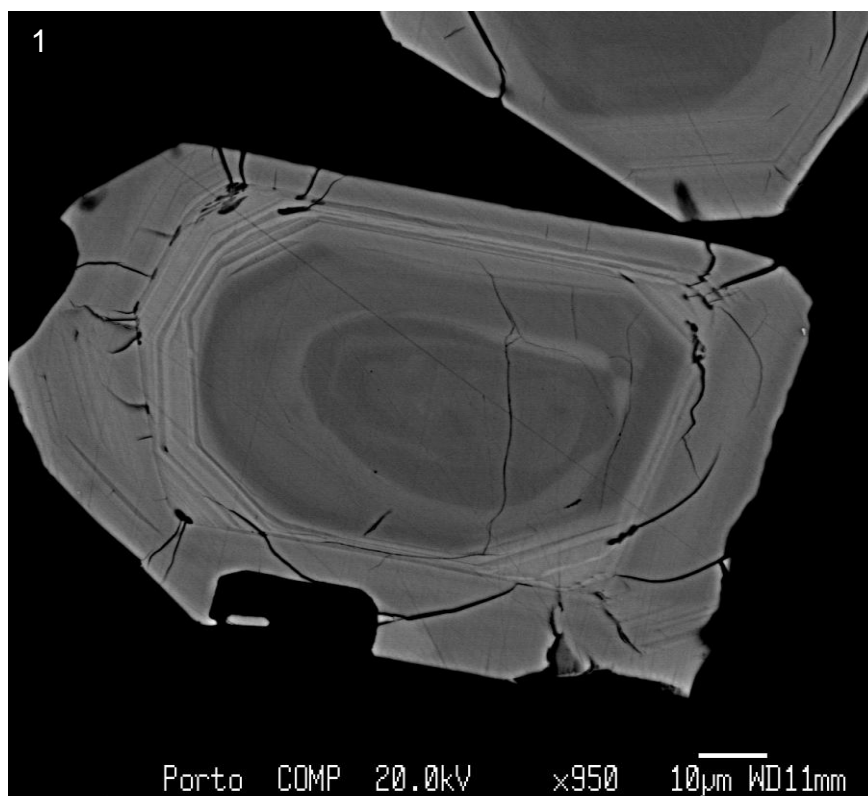
### ***Zircões do Granito de Moreira de Rei (MR 6C-29)***

Microfotografias à Microsonda Eletrónica

1 - Zircão prismático com zonamento magmático bem definido. Pode-se definir 3 etapas de desenvolvimento deste grão. A zona do núcleo apresenta-se mais escura, mas com um zonamento ténue, seguidamente temos uma “orla central” entre a zona do núcleo e a periferia, que evidencia um zonamento mais marcado e mais fino. Por último a zona mais externa do grão que apresenta um zonamento ténue. A fracturação observada situa-se na zona mais externa.

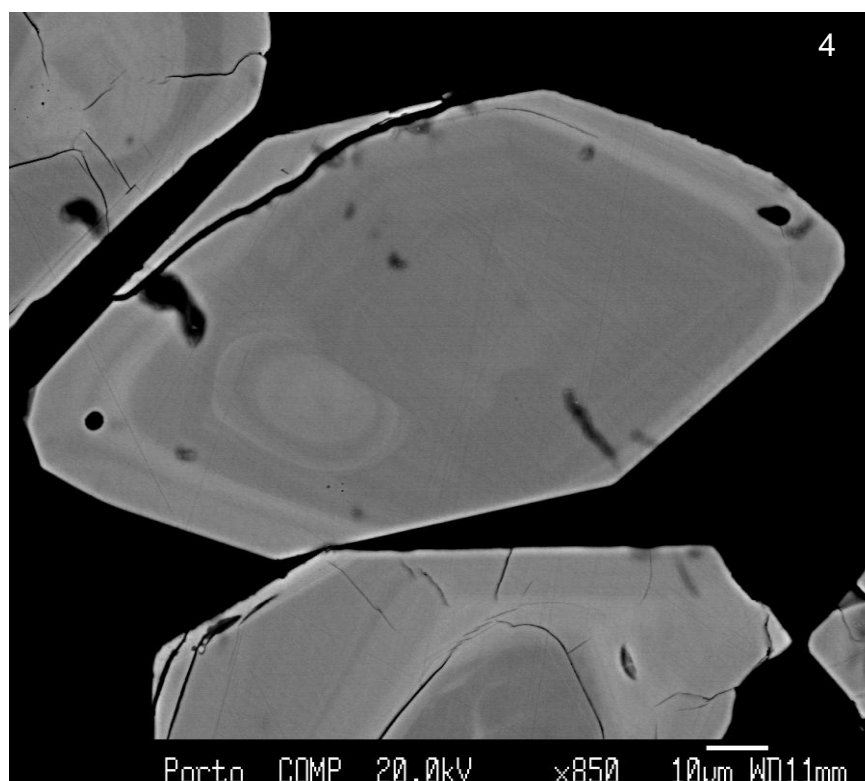
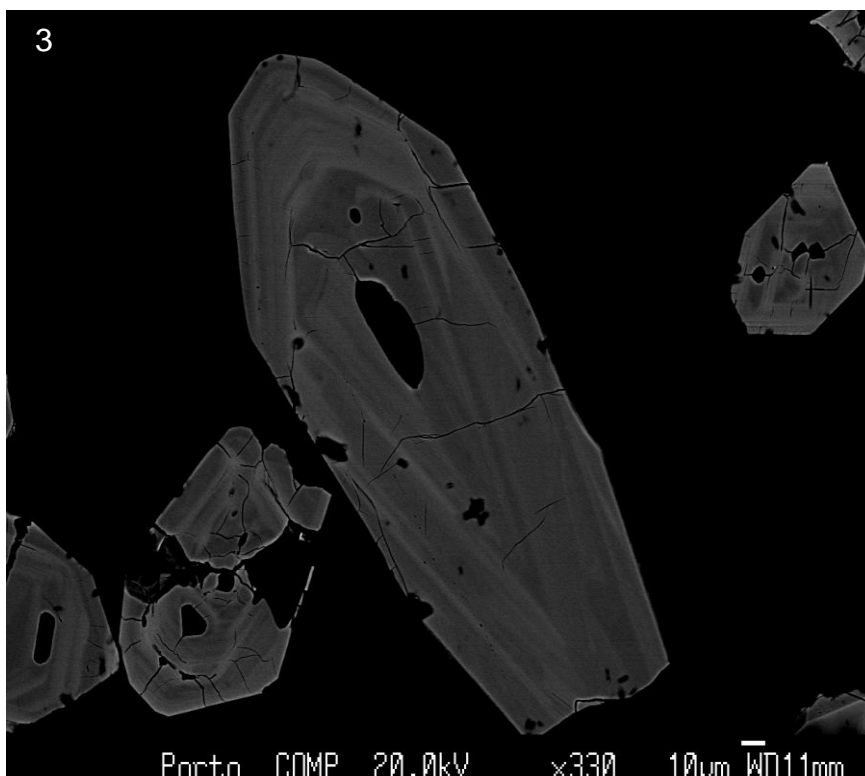
2 - Zircão Lamelar em que o núcleo apresenta um zonamento difuso. A zona mais externa do grão é marcada por um zonamento magmático fino e ténue. Apresenta-se fraturado na zona do núcleo.





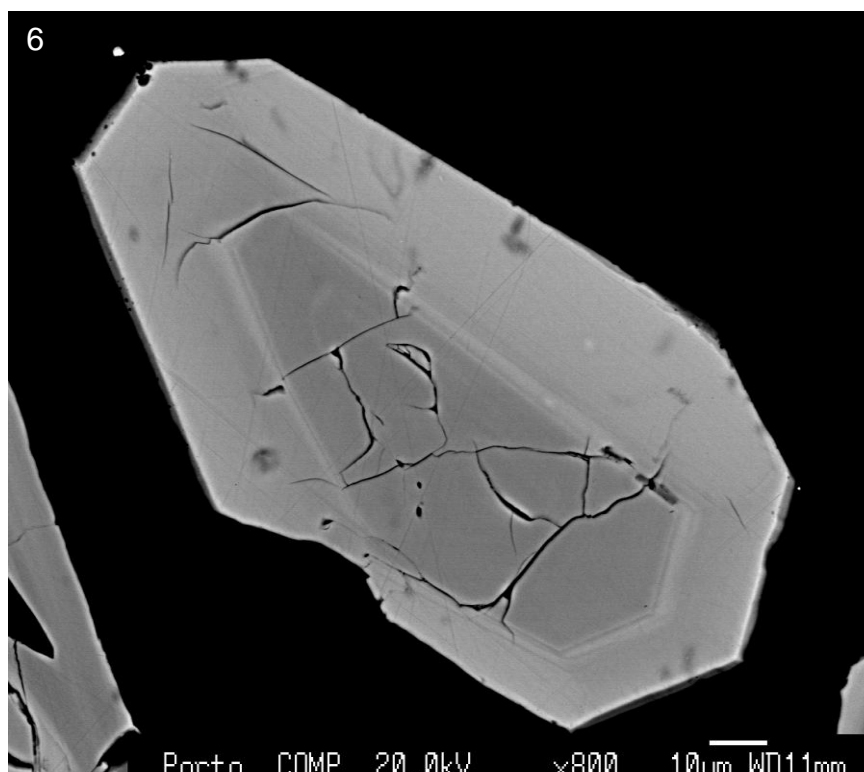
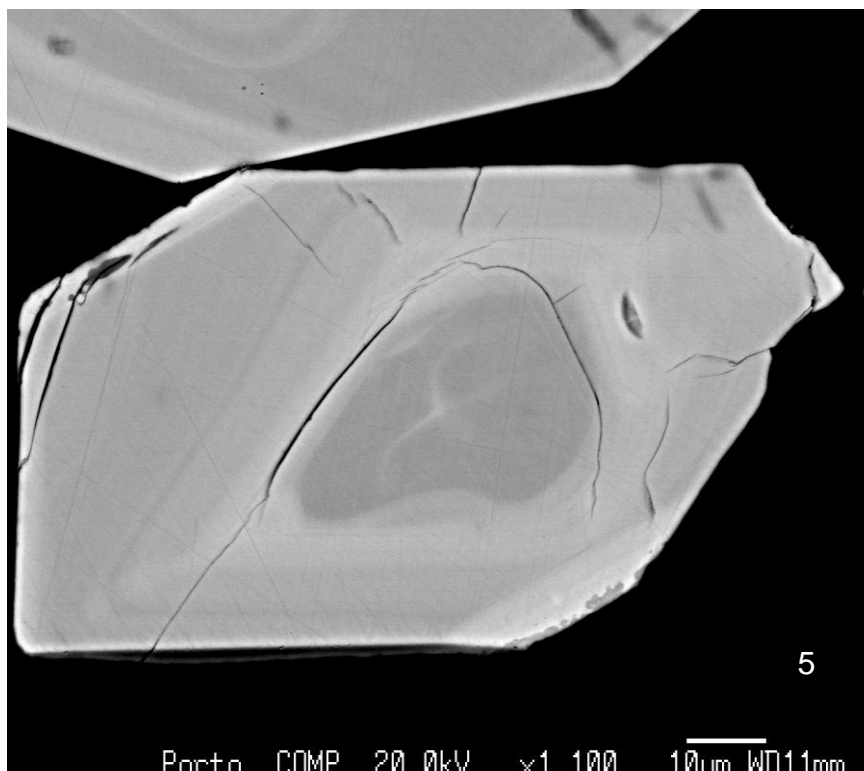
3 – Zircão prismático com zonamento magmático bem marcado. Com grande inclusão central e várias inclusões por todo o grão.

4 – Zircão lamelar com zona central mais escura com zonamento muito fino e ténue, zona externa mais clara com zonamento fino e ténue. Observa-se uma zona central diferente (possível reabsorção).

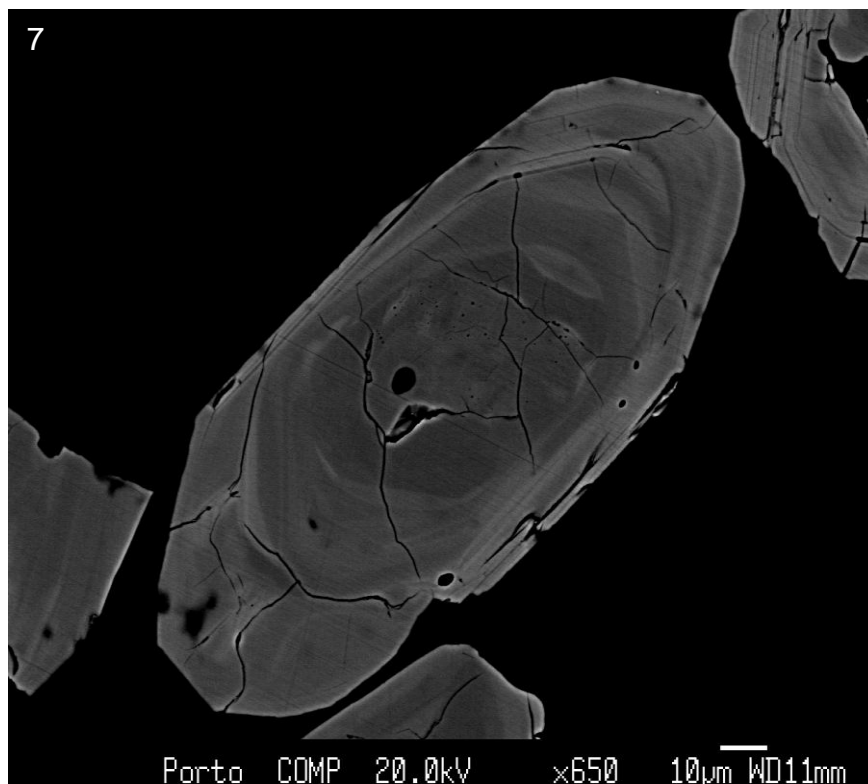


5 – Zircão lamelar com zonamento bastante ténue com duas fases de crescimento. Apresenta núcleo mais escuro e difuso.

6 - Zircão lamelar com duas fases de crescimento. A zona escura apresenta um zonamento nebulítico, fracturado, que em contacto com a zona mais clara observa-se um zonamento fino e bem marcado. A zona mais clara é essencialmente nebulítica.



7 – Zircão prismático com zonamento nebulítico , com zonas de reabsorção no núcleo (zona escura) e fracturação. Zonamento magmático nas zonas mais externas.







**Estampa VI**

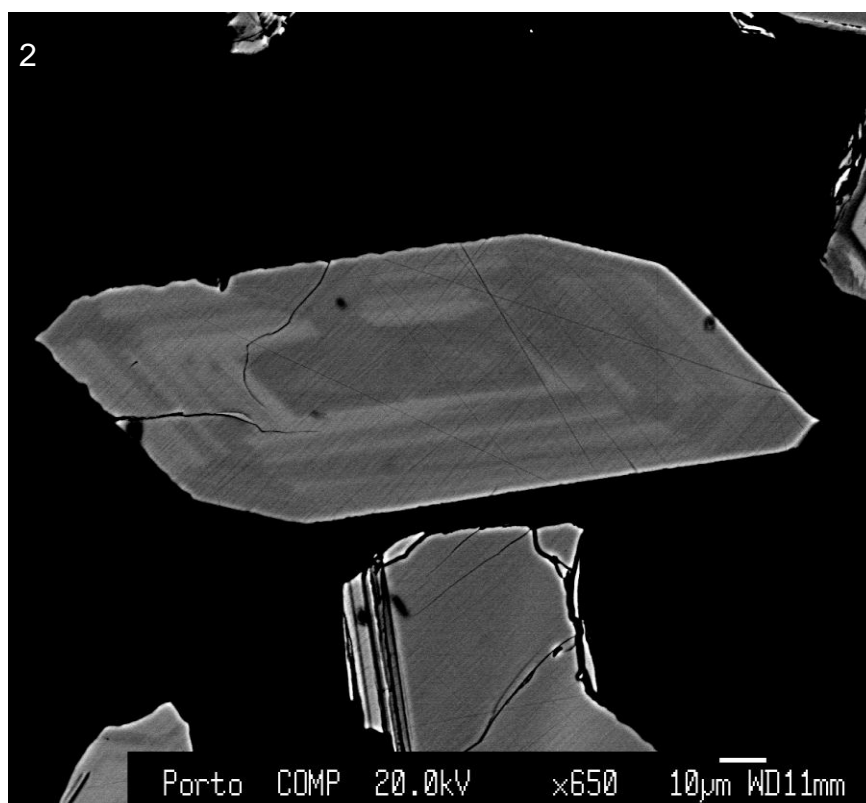
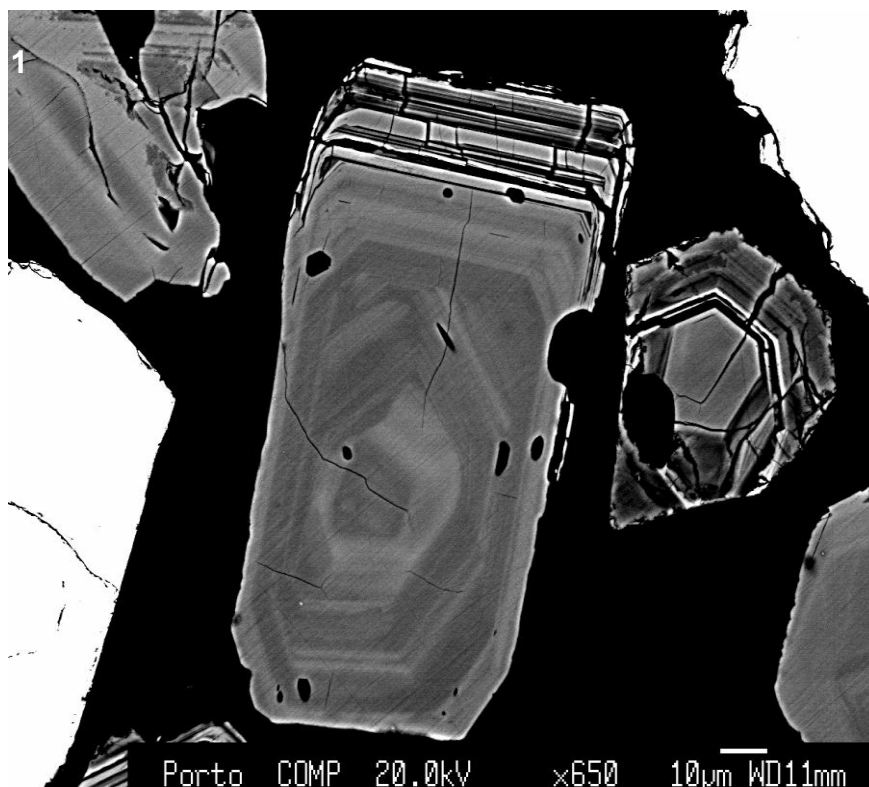
***Zircões do Granito de Vila Pouca de Aguiar***

***(VP 60-12)***

Microfotografias à Microsonda Eletrónica

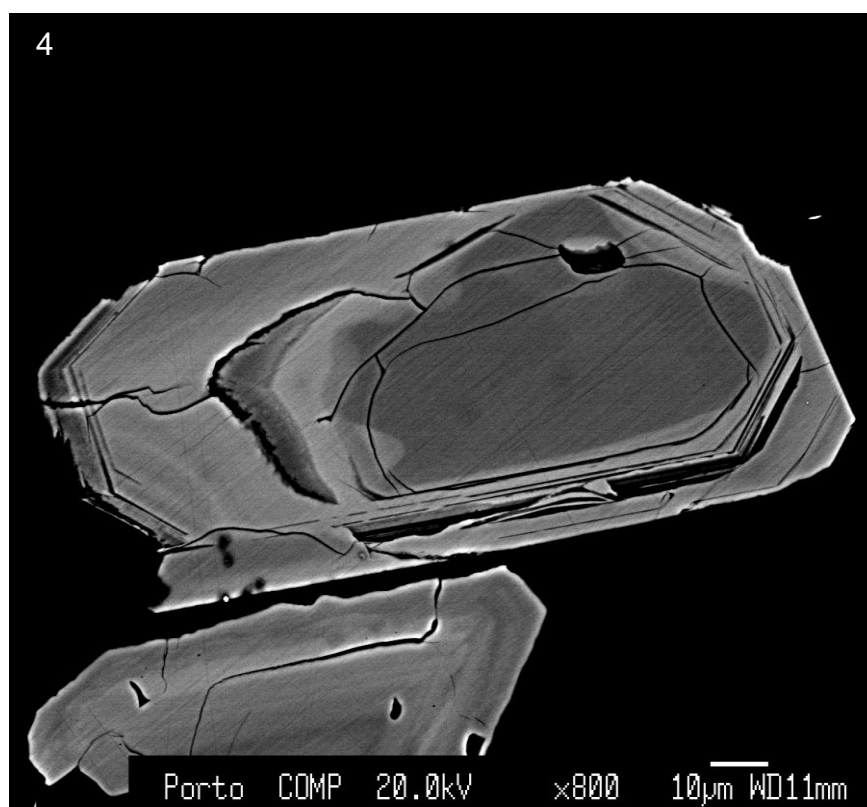
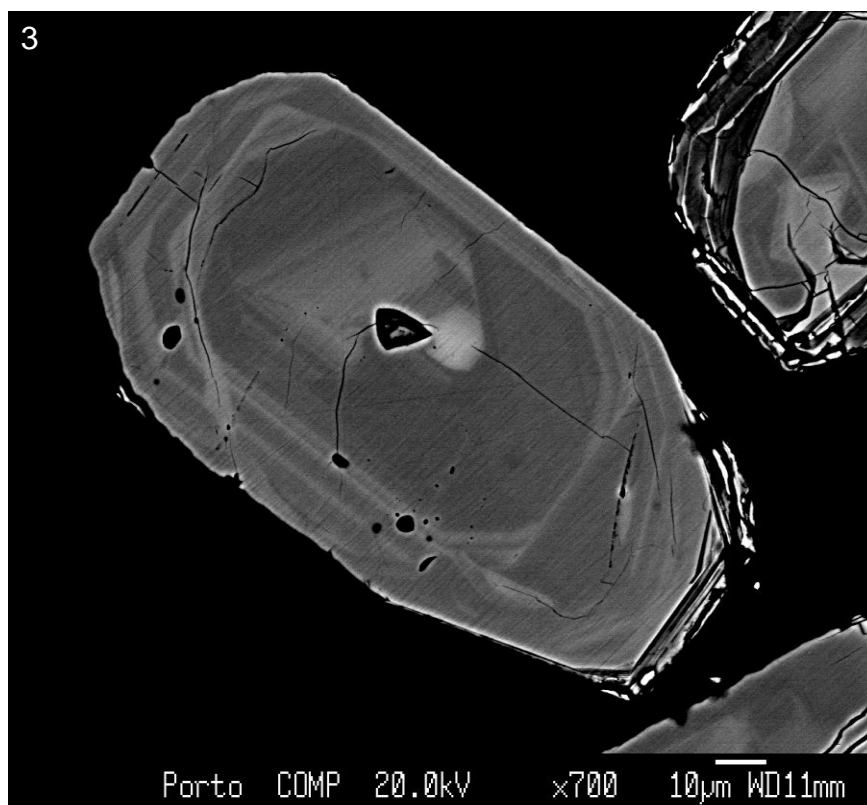
1 – Zircão prismático sem desenvolvimento das pirâmides, zonamento magmático bem desenvolvido nas zonas mais externas. Zonamento nebulítico na zona do núcleo.

2 - Zircão lamelar com estrutura nebulítica na zona do núcleo e zonamento magmático nas zonas mais externas.

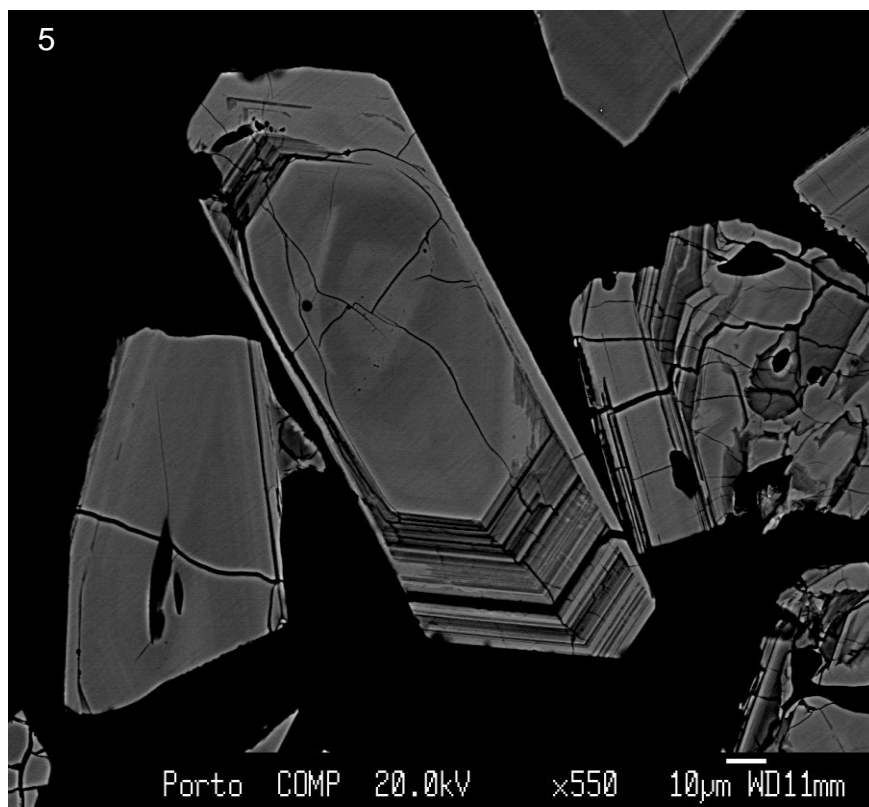


3 - Zircão prismático com zonamento nebulítico no núcleo e zonamento magmático ténue na zona mais externa do grão. Verificam-se pequenas inclusões dispersas no grão.

4 – Zircão prismático com zonamento difuso em quase todo o grão. Observa-se um zonamento fino na borda do grão. Observa-se a fracturação a acompanhar as mudanças de zonamento.



5 - Zircão prismático com zonamento nebulítico em toda a estrutura do prisma, bem como a maioria da fracturação. Observa-se um zonamento magmático fino e bem definido nas pirâmides deste grão.





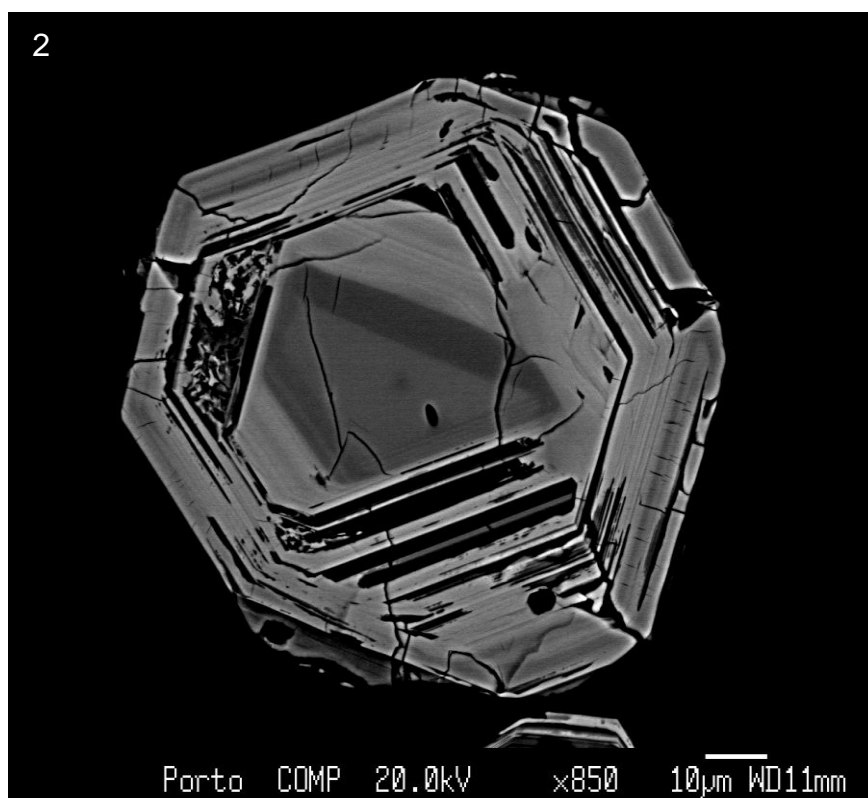
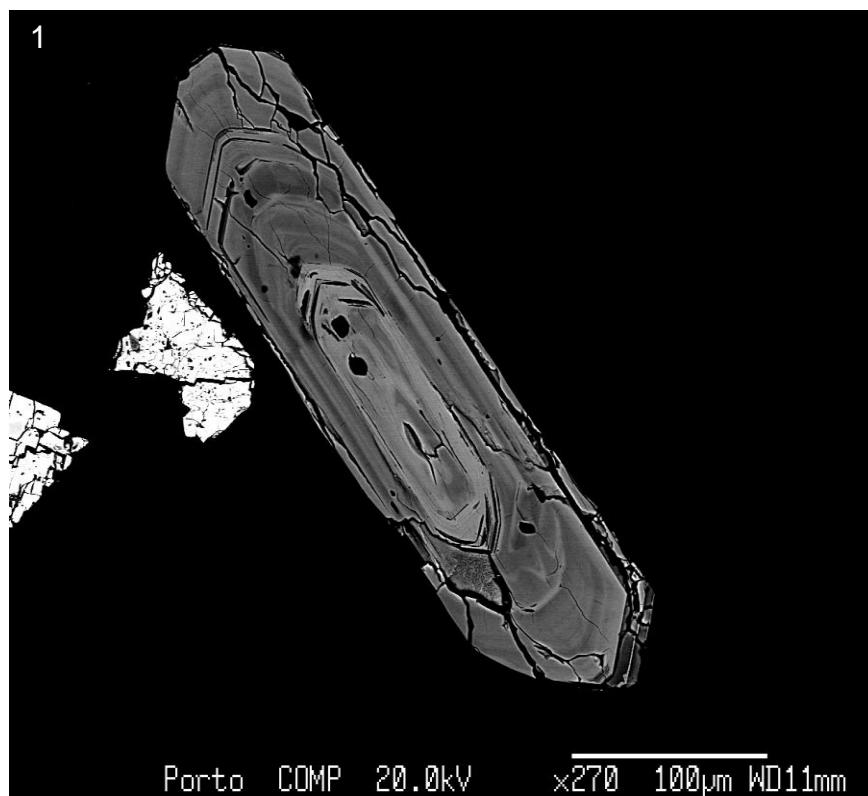


**Estampa VII**  
***Zircões do Granito de Pedras Salgadas***  
***(PS 60-18)***

Microfotografias à Microsonda Eletrónica

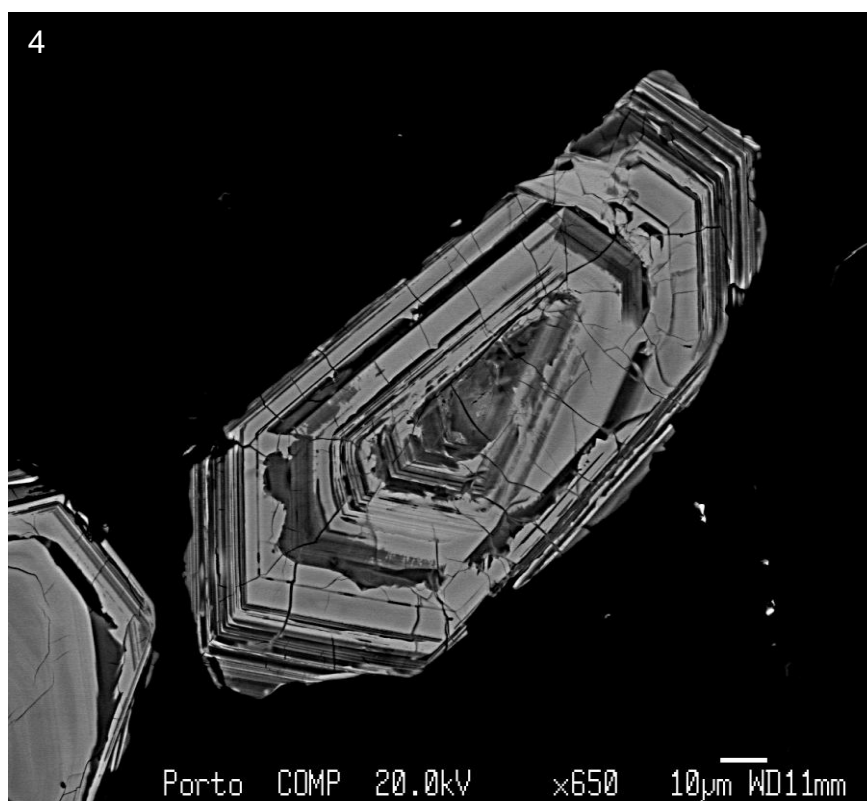
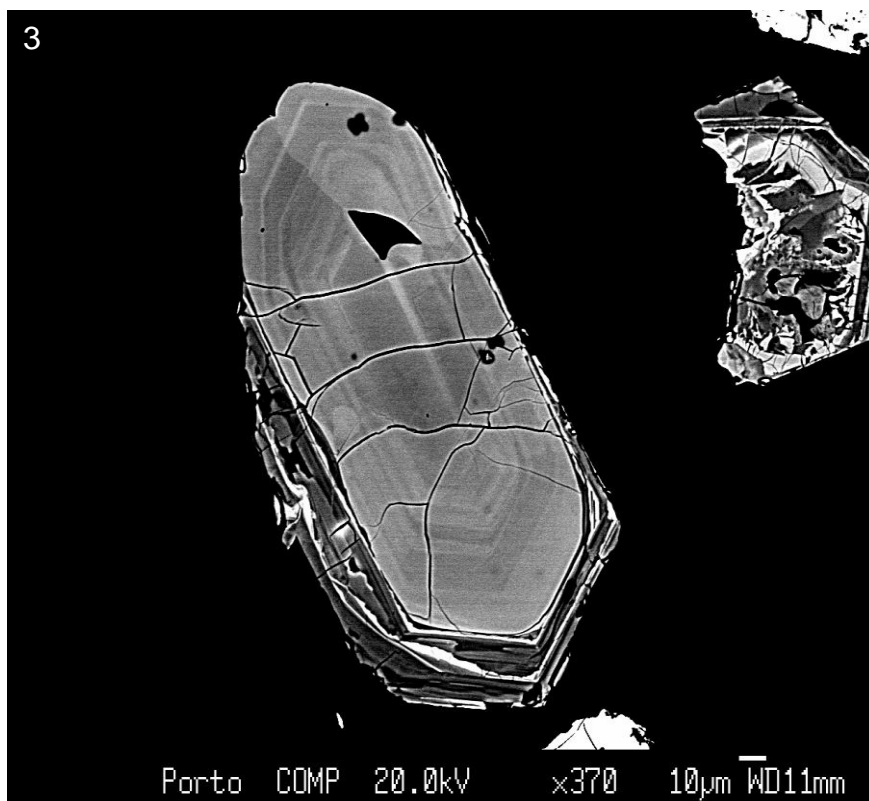
1 - Zircão acicular com zonamento magmático bem definido. Apresenta 3 fases de crescimento, inclusões e está bastante fracturado na zona mais externa.

2 - Zircão subesférico com forte zonamento magmático

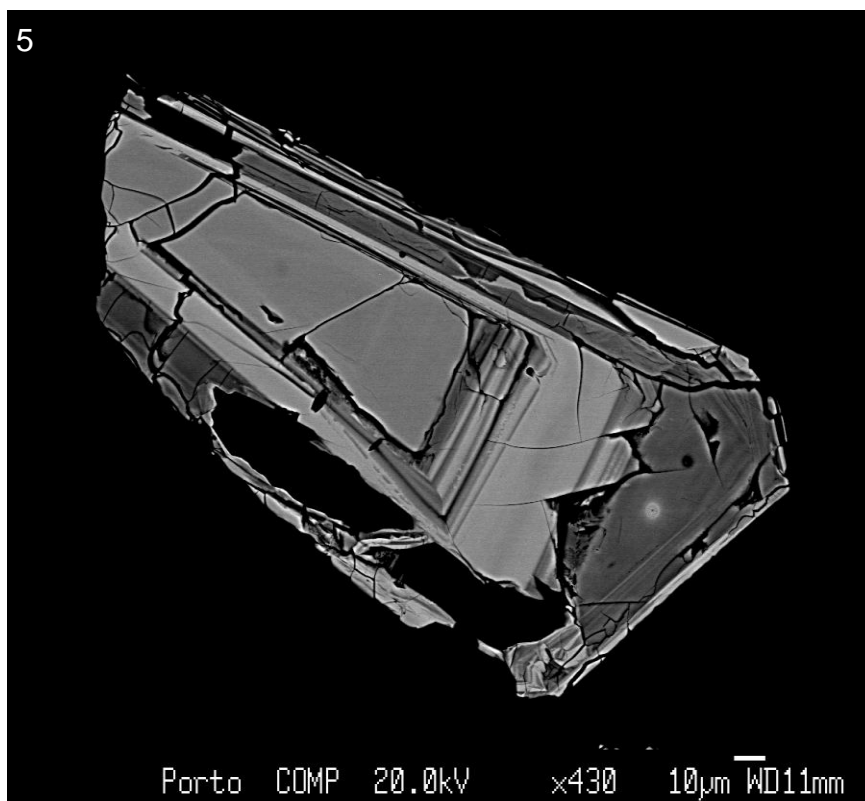


3 – Zircão prismático com zonamento nebulítico no núcleo. Apresenta zonamento magmático fino e bem definido, algumas inclusões e fracturação por todo o grão.

4 - Zircão prismático com forte zonamento magmático. Observam-se no grão as várias zonas definidas pelo zonamento que podem marcar os diferentes “impulsos” de crescimento que este grão sofreu. Apresenta uma fracturação intensa.



5 – Parte de um zircão acicular onde se observa o forte zonamento magmático e as várias fazes de crescimento deste grão. Apresenta-se intensamente fracturado.







### 5.3. Geoquímica

O estudo químico de zircões tem-se desenvolvido nas últimas décadas, graças ao avanço tecnológico na microsonda eletrónica. Segundo Pupin (1992) a observação da estrutura interna e a análise da composição química à microsonda eletrónica pode fornecer informações valiosas, pois ao analisar ambas pode-se distinguir diferentes etapas de cristalização pelo qual o zircão passou, podendo “refazer” a história da evolução do zircão no meio envolvente.

Muitos autores fizeram estudos sobre a geoquímica do zircão, uns aplicaram a teoria proposta por Pupin, outros implementaram a análise de outros elementos na microsonda eletrónica. Belousova et al., (2002), Pérez-Soba et al., (2007) e Claiborne et al., (2010) realizaram análises aos elementos terra raras de modo a observar uma variação mais evidente em grupos de amostras. Estas variações dos elementos terra raras podem ser cruciais na caracterização evolutiva de um grupo de zircões.

Pupin (2000) defende as relações Hf/Y, U/Th e Zr/Hf como os principais indicadores da evolução do zircão. A relação Hf/Y mostra como estes elementos foram incorporados no zircão. Este autor defende que a razão Zr/Hf fornece a resposta para descobrir o tipo de magma que deu origem à rocha em estudo, para isso fez 11200 análises em rochas de origem ígnea.

#### 5.3.1. Composição química dos zircões

Nos granitos estudados foram efetuadas 166 análises em diferentes grãos de zircão que se apresentam em Anexo.

##### 5.3.1.1. Granitos associados à ZCPT

No grupo de granitos que constituem a orla costeira da zona do Porto, as variações composicionais dos teores dos elementos analisados estão representadas nas Figuras 31e 32. Verifica-se que a nível composicional os valores mais elevados de HfO<sub>2</sub> correspondem ao granito de Lavadores (Fig.31) estando equilibradamente bem distribuídos por todo grão (Fig.32). No granito do Castelo do Queijo os valores de HfO<sub>2</sub> encontram-se ligeiramente mais evidenciados nas orlas do grão (Fig.31). No granito de Madalena verifica-se a mesma relação do granito de Lavadores (Fig.32).

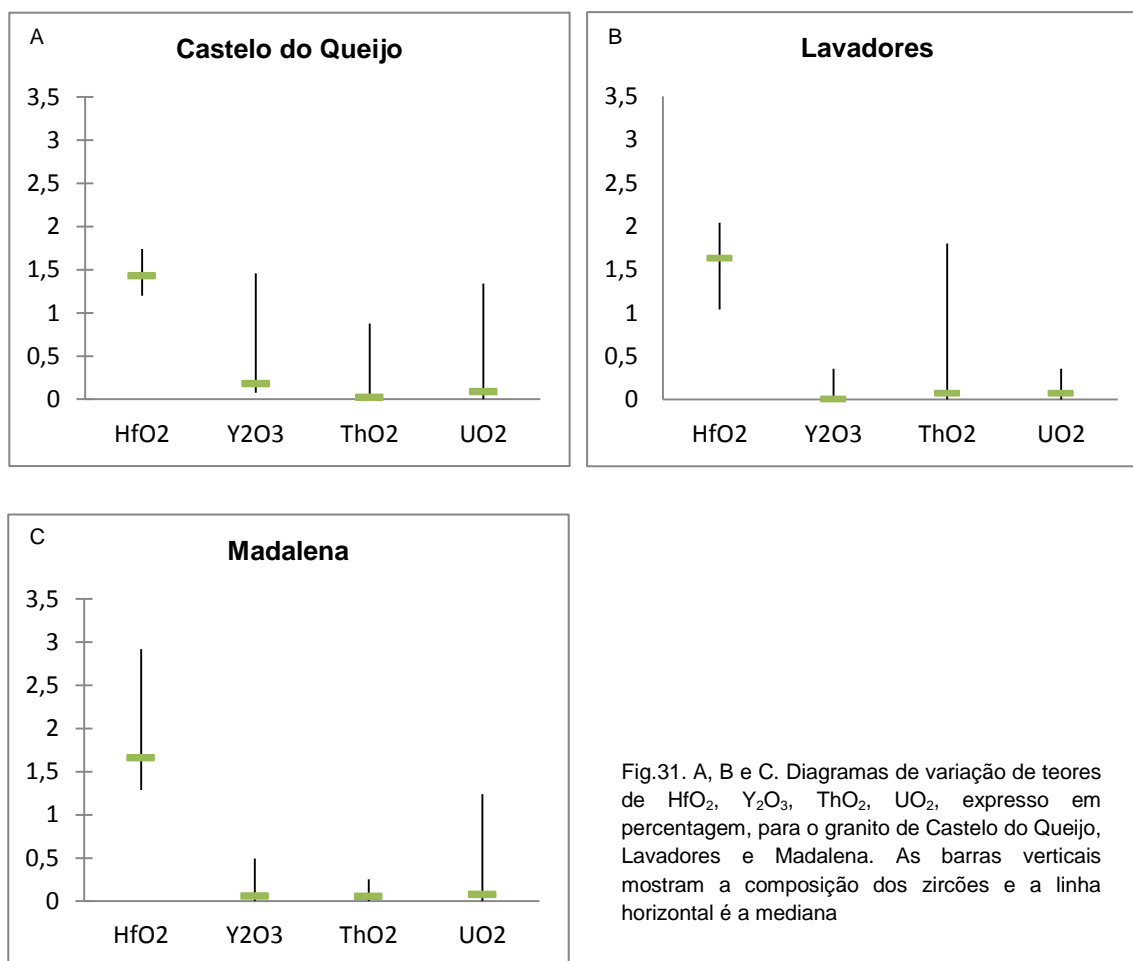


Fig.31. A, B e C. Diagramas de variação de teores de HfO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ThO<sub>2</sub>, UO<sub>2</sub>, expresso em percentagem, para o granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena. As barras verticais mostram a composição dos zircões e a linha horizontal é a mediana

O Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no granito de Castelo do Queijo está sempre presente em quantidades inferiores a 1,46%, sendo o que apresenta o valor mais elevado neste grupo de granitos (Fig.31) e exibindo de um modo geral teores mais elevados no núcleo dos grãos (Fig.32). No granito de Lavadores os valores de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são bastante reduzidos, sendo o mais elevado 0,33 % (Fig.31). O granito de Madalena também apresenta valores reduzidos em Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sendo o mais elevado 0,50 % (Fig.31). Nestes dois granitos os teores deste elemento encontram-se distribuídos de forma equilibrada por todo o grão (Fig.32).

Os teores de ThO<sub>2</sub> para o granito de Castelo do Queijo variam desde 0 a 0,88 % (Fig.31) estando distribuídos de forma homogénea pelos grãos (Fig.33). No granito de Lavadores os teores variam entre 0 e 1,8 % (Fig.31) apresentando o granito da

Madalena teores de  $\text{ThO}_2$  mais baixos 0- 0,12 % (Fig.33) não evidenciando, ambos os granitos, diferenças significativas no núcleo e na orla (Fig.33).

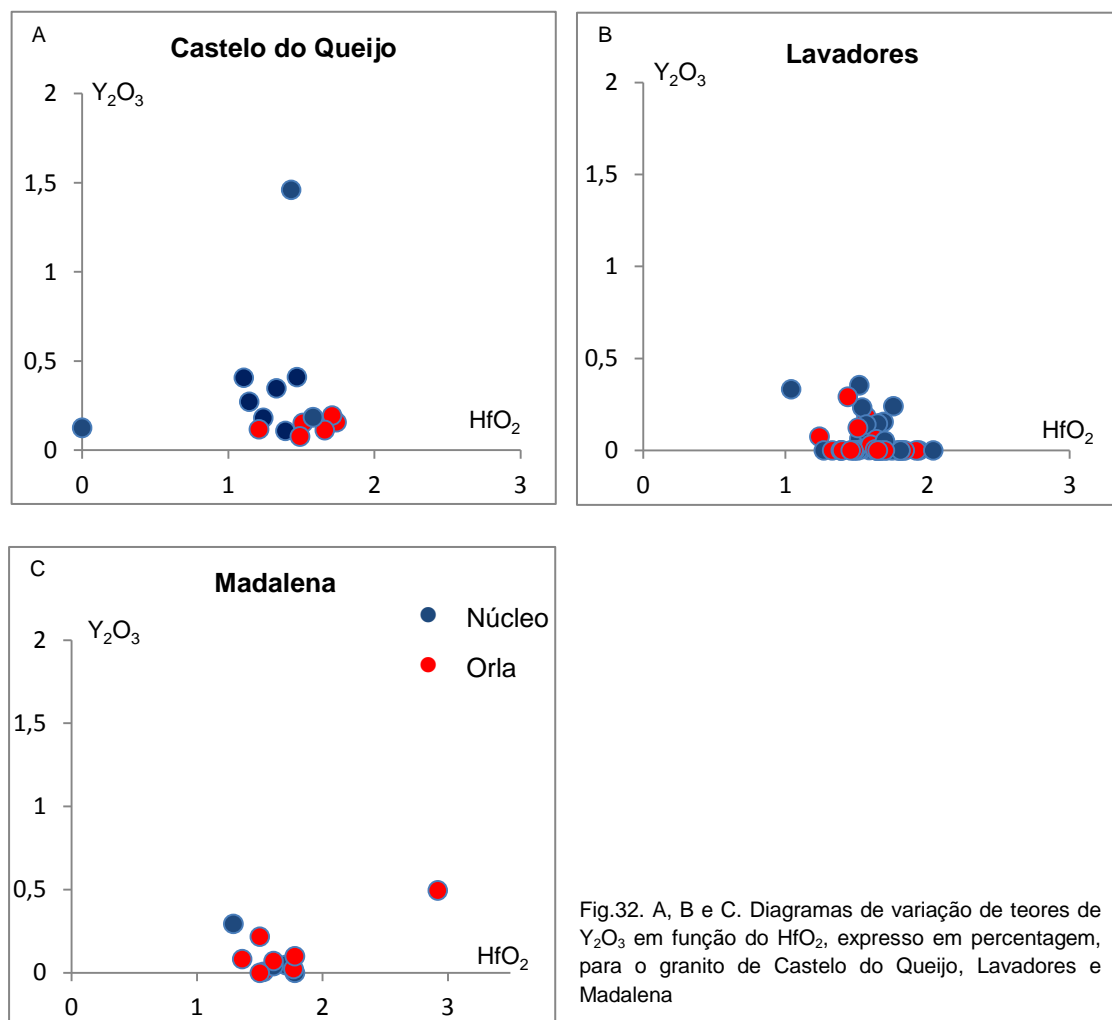
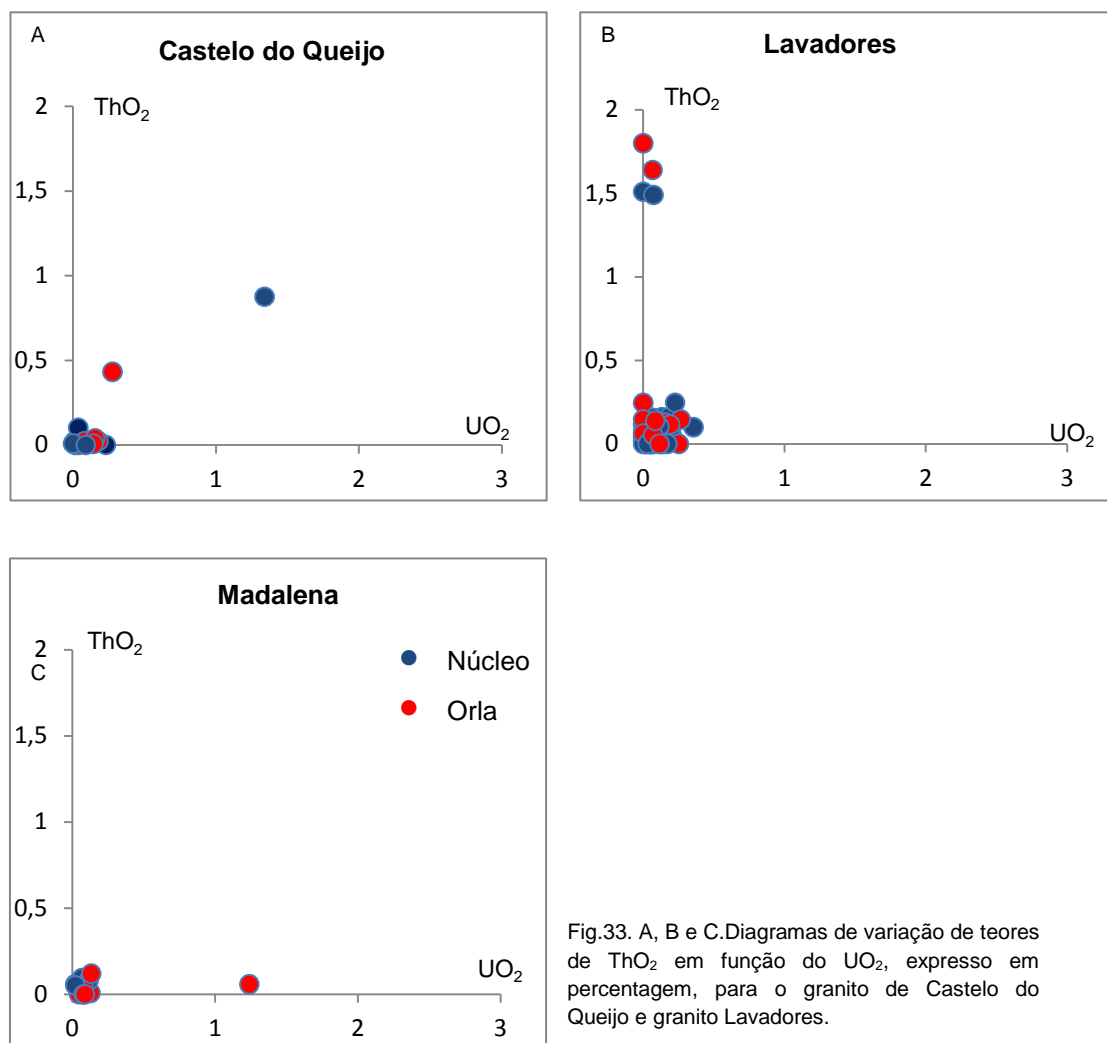


Fig.32. A, B e C. Diagramas de variação de teores de  $\text{Y}_2\text{O}_3$  em função do  $\text{HfO}_2$ , expresso em percentagem, para o granito de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena

O granito de Castelo do Queijo apresenta teores de  $\text{UO}_2$  de 0 a 1,34 %, (Fig.31) dispersos por todo o grão (Fig.33). O granito de Lavadores apresenta teores que variam entre 0 e 0,36 % (Fig.31) e encontram-se dispersos por todo o grão (Fig.33). O granito de Madalena apresenta teores que variam entre 0,020 a 1,24 % (Fig.31), estando dispersos do mesmo modo que os granitos anteriores (Fig.33).



### 5.3.1.2. Granitos associados à ZCVR

As variações composicionais dos teores dos elementos analisados, para os zircões dos granitos que constituem o maciço de Vieira do Minho apresentam-se na Figuras 37.

O granito de Vieira do Minho apresenta valores de HfO<sub>2</sub> que variam entre 2,17 e 1,21 % (Fig.34), sendo que os valores mais elevados (>1,5%) correspondem às orlas (Fig.35). Relativamente ao granito de Moreira de Rei os valores de HfO<sub>2</sub> situam-se entre 2,55 a 0,18 % (Fig.34), estando os valores mais elevados presentes tanto no núcleo como nas orlas (Fig.35).

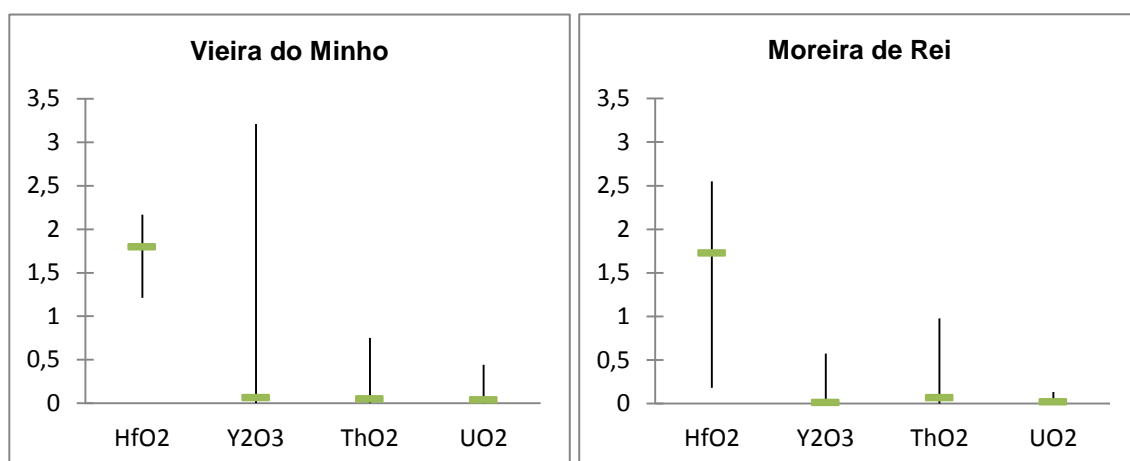


Fig.34. Diagramas de variação de teores de HfO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ThO<sub>2</sub>, UO<sub>2</sub>, expresso em percentagem, para o granito de Vieira do Minho e granito de Moreira de Rei. As barras verticais mostram a composição dos zircões e a linha horizontal é a mediana

O Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apresenta valores que vão desde os 0 a 3,21 % (Fig.34), correspondendo os valores mais elevados às zonas das orlas, enquanto os mais baixos às zonas de núcleo, no granito de Vieira do Minho (Fig.35). O granito de Moreira de Rei apresenta valores Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 0 a 0,57% (Fig.34), estando os mais elevados presentes na zona das orlas (Fig.35).

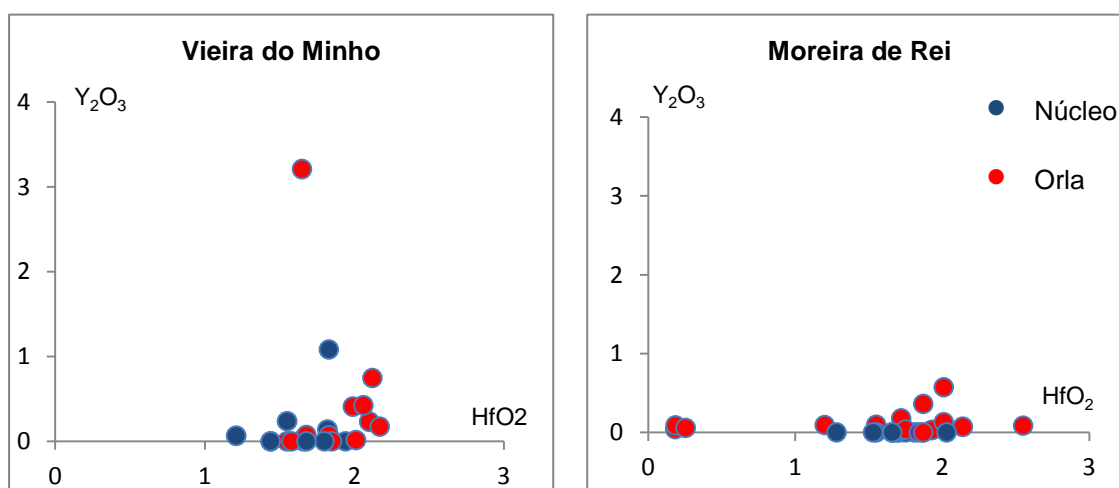


Fig.35. Diagramas de variação de teores de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em função do HfO<sub>2</sub>, expresso em percentagem, no granito de Vieira do Minho e granito de Moreira de Rei

Os teores de ThO<sub>2</sub> no granito de Vieira do Minho variam dos 0 a 0,17 % (Fig.34), e verifica-se que os valores mais elevados estão representados tanto na zona de núcleo como na zona de orla (Fig.36). Relativamente ao granito de Moreira de Rei verificam-se valores entre 0 e 0,13 % (Fig.34), que se distribuem de forma homogênea nas orlas e nos núcleos (Fig.36).

O  $\text{UO}_2$  no granito de Vieira do Minho apresenta valores de 0,029 a 0,75 % (Fig.34) e observa-se que a fase de orla magmática apresenta os valores mais elevados neste elemento (Fig.36). O granito de Moreira de Rei apresenta por sua vez valores de  $\text{UO}_2$  de 0 a 0,98% (Fig.34) sendo que os valores mais elevados estão associados, também, à fase de orla magmática do zircão (Fig.36).

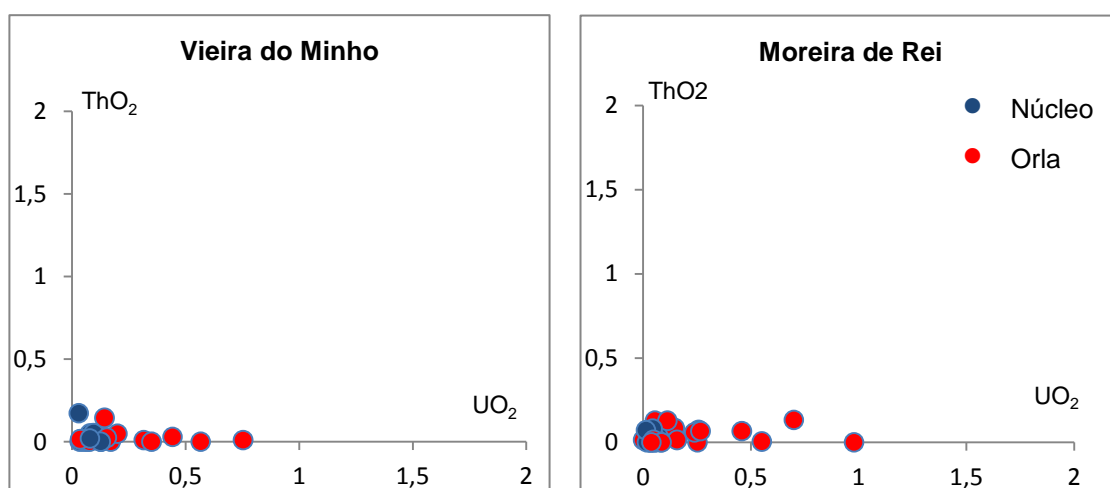


Fig.36. Diagramas de variação de teores de  $\text{ThO}_2$  em função do  $\text{UO}_2$ , expresso em percentagem, no granito de Vieira do Minho e granito de Moreira de Rei.

### 5.3.1.3. Granitos associados à ZFPRV

As variações composicionais para os zircões dos granitos do maciço de Vila Pouca de Aguiar encontram-se representadas na Figura 40.

O granito de Vila Pouca de Aguiar apresenta teores de  $\text{HfO}_2$  de 1,29 a 2,07 % (Fig.37), distribuindo-se de forma equivalente no núcleo e nas orlas (Fig.38). Relativamente a Pedras Salgadas os valores variam de 1,24 a 1,77 % (Fig.37) e os valores mais elevados estão representados tanto no núcleo como na orla (Fig.38).

Os teores em  $\text{Y}_2\text{O}_3$  no granito de Vila Pouca de Aguiar vão desde 0 a 1,45 % (Fig.37), correspondendo os valores mais elevados às orlas (Fig.38). No granito de Pedras Salgadas os teores variam entre 0 e 2,92 % (Fig.37), sendo que os teores deste elemento se repartem de igual forma no núcleo e na orla (Fig.38).

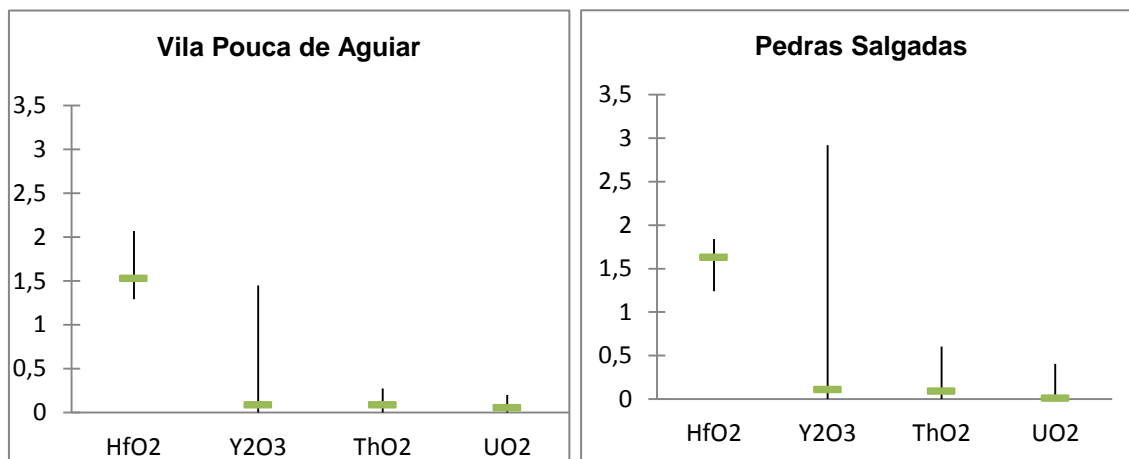


Fig.37. Diagrama de variação de teores de HfO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ThO<sub>2</sub>, UO<sub>2</sub>, expresso em percentagem, para o granito de Vila Pouca de Aguiar e granito de Pedras Salgadas. As barras verticais mostram a composição dos zircões e a linha horizontal é a mediana

Os teores de ThO<sub>2</sub> no granito de Vila Pouca de Aguiar vão desde 0 a 0,20 % (Fig.37), sendo os valores mais elevados tendencialmente associados às zonas de núcleo do zircão (Fig.39). O granito de Pedras Salgadas evidencia valores que variam desde 0 a 0,27 % (Fig.37) e observa-se que o ThO<sub>2</sub> não apresenta qualquer distribuição preferencial (Fig.39).

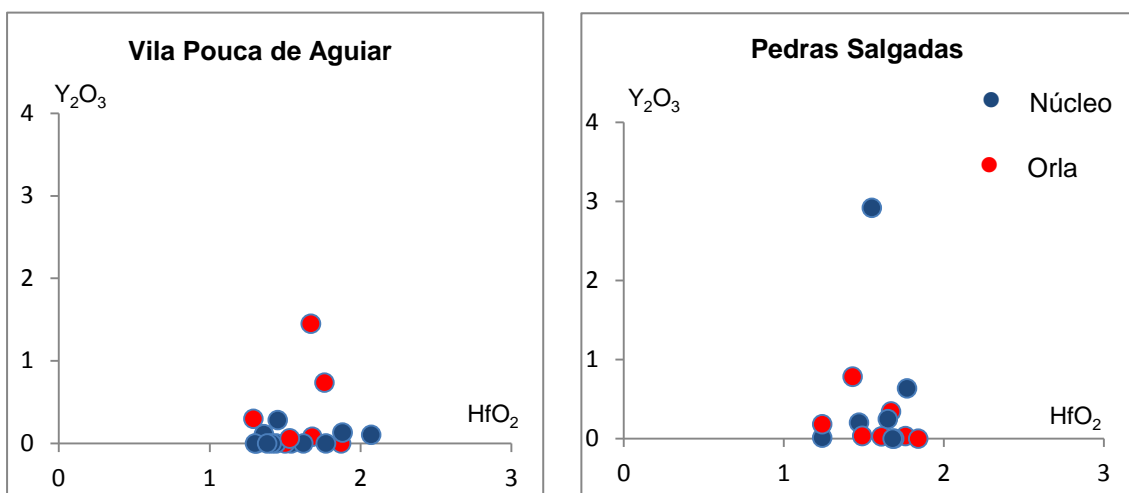


Fig.38. Diagramas de variação de teores de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em função do HfO<sub>2</sub>, expresso em percentagem, para o granito de Vila Pouca de Aguiar e granito Pedras Salgadas.

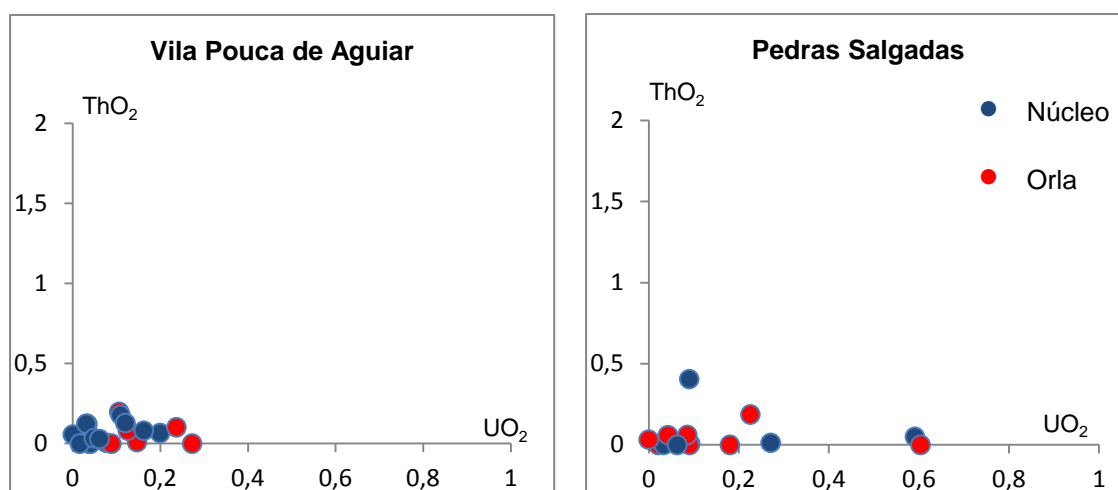


Fig.39. Diagramas de variação de teores de ThO<sub>2</sub> em função do UO<sub>2</sub> expresso em percentagem, para o granito de Vila Pouca de Aguiar e granito de Pedras Salgadas

O granito de Vila Pouca de Aguiar apresenta teores para UO<sub>2</sub> que variam entre 0 e 0,27 % (Fig.37), que estão bem distribuídos pelas duas fases do zircão, mas observa-se um ligeiro acréscimo na fase da orla (Fig.39). Relativamente ao granito de Pedras Salgadas observa-se uma variação de 0 a 0,60 % (Fig.37), verificando-se que os valores de UO<sub>2</sub> estão dispersos de forma homogénea tanto na fase de núcleo como na de orla, não podendo assim optar por uma fase em que este é mais predominante (Fig.39).



### ***5.3.2. Estudo Geoquímico de grãos de Zircão***

Microfotografias ao MEV e Microsonda Eletrónica



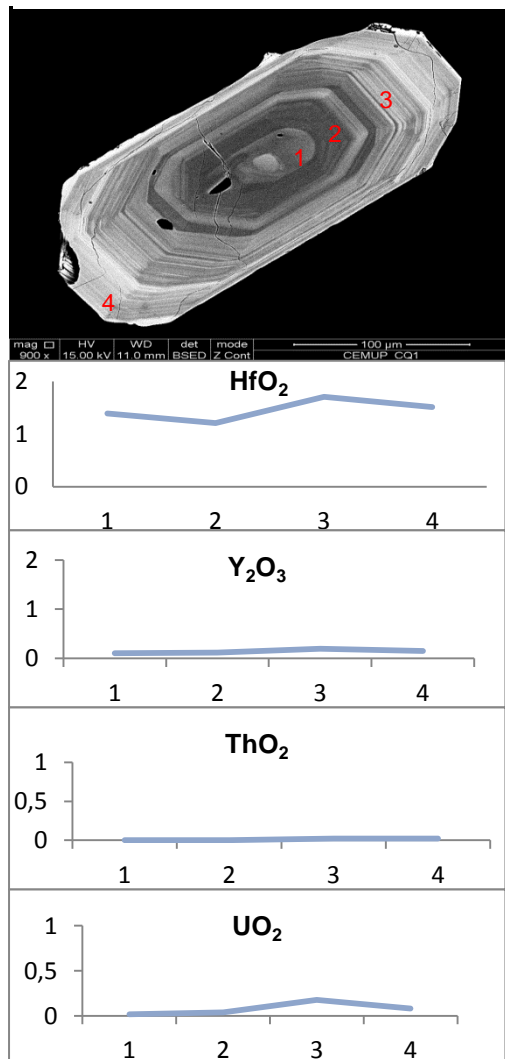
#### **5.3.2.1. Estudo Geoquímico de grãos de Zircão**

Nesta secção tentou-se estabelecer uma correlação entre as variações estruturais internas e as variações químicas dos cristais de zircão dos granitos em estudo.

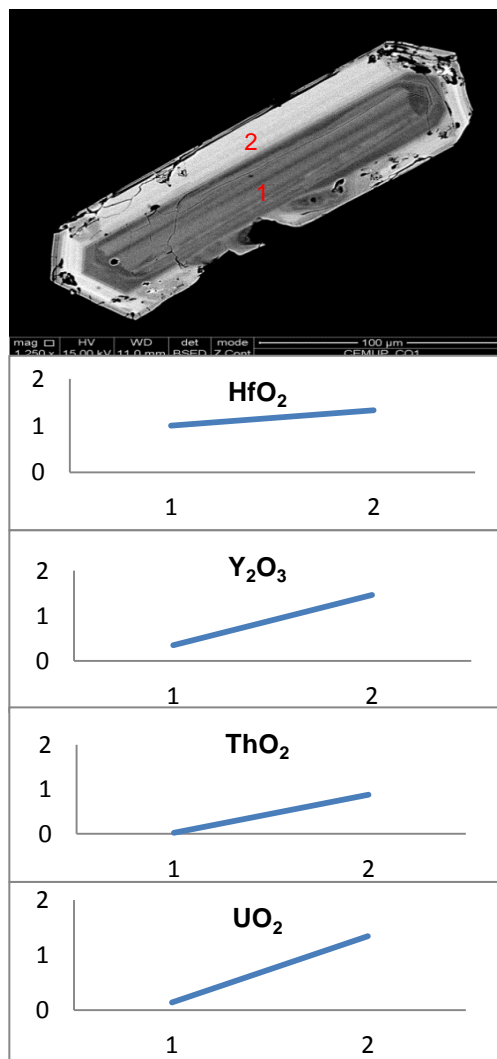
As imagens apresentadas nas figuras são microfotografias de zircões acompanhadas de gráficos de variação de teores de Hf, Th, Y e U, que foram analisados em alguns pontos do grão. Verifica-se que na zona de orla existe um aumento gradual e variável nos elementos de Th, Y e U, porém a zona do núcleo é rica em Hf, e este mantém de forma quase constante os mesmos valores em todo o grão. Estas variações químicas com a estrutura interna, evidenciam na globalidade as mesmas tendências em todos os granitos estudados (Figuras 43 a 48).



Zircão Z1 CQ1



Zircão Z4 CQ1



Zircão Z7 LAV5

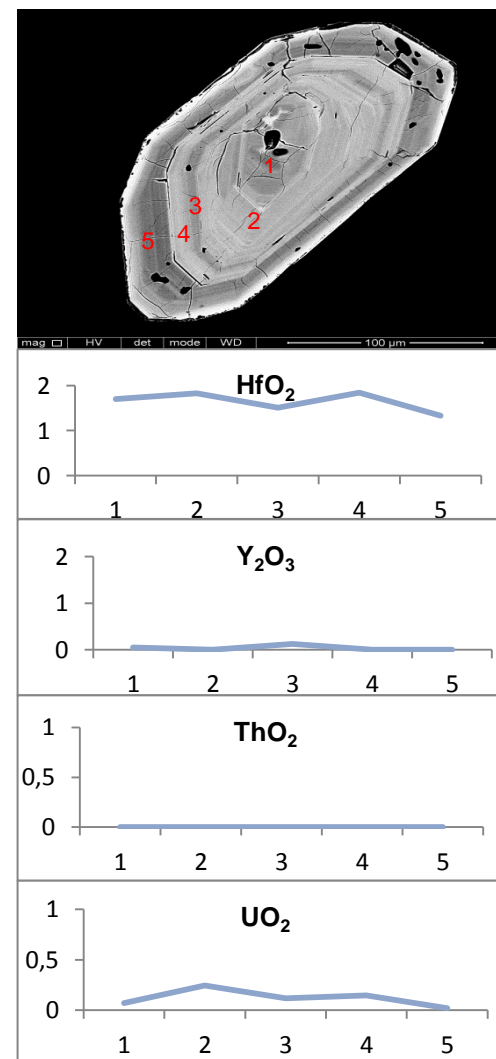
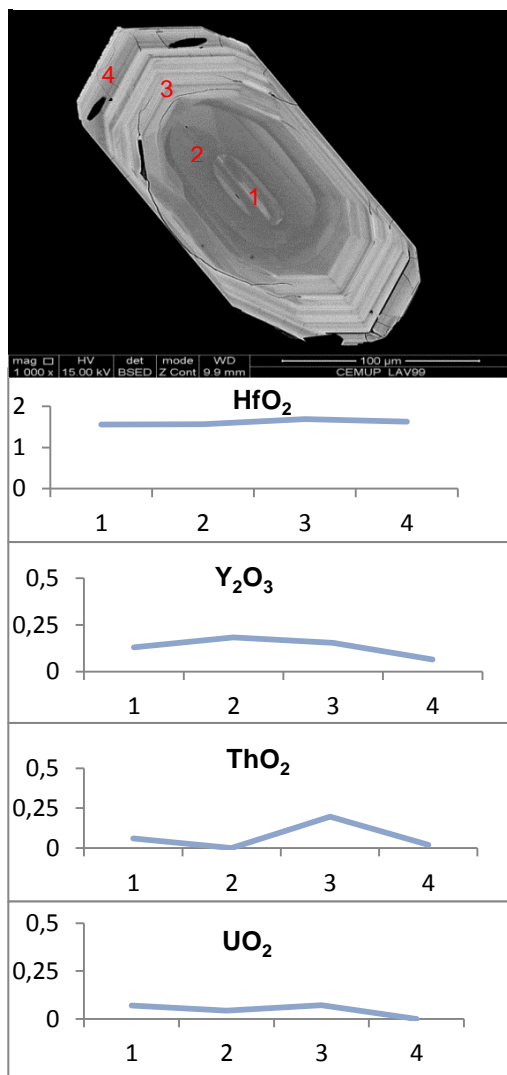


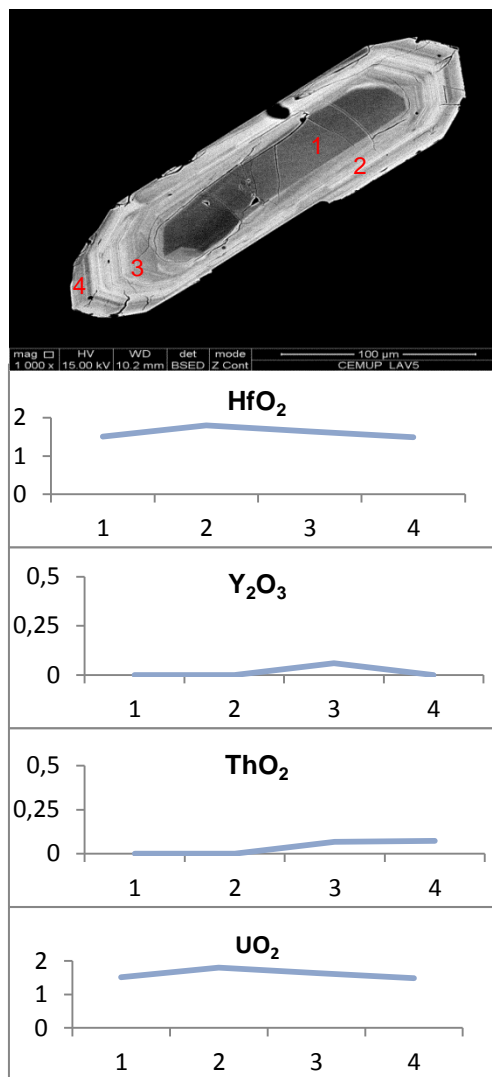
Fig.40. Seleção de zircões dos granitos de Castelo do Queijo e Lavadores. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrônica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.



Zircão Z3 LAV99



Zircão Z2 LAV5



Zircão Z5 LAV5

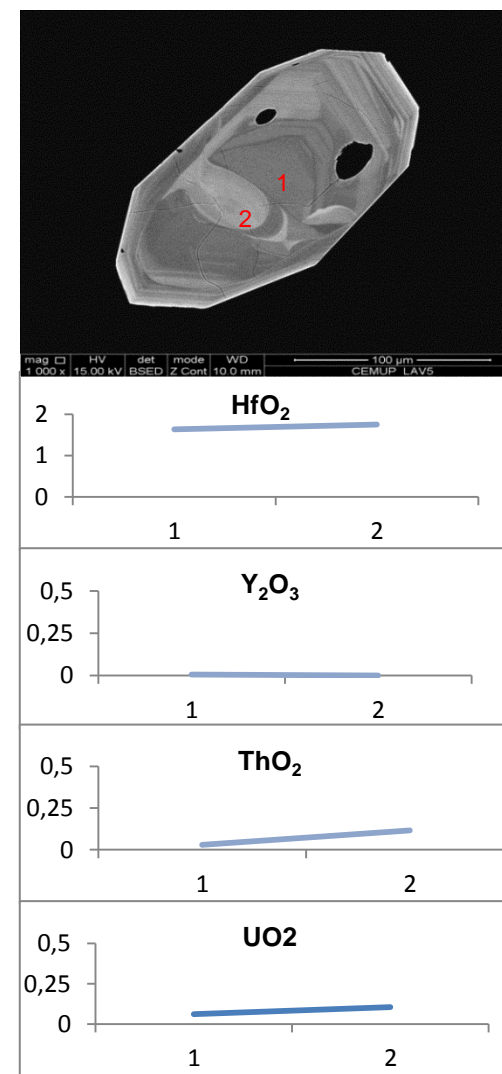
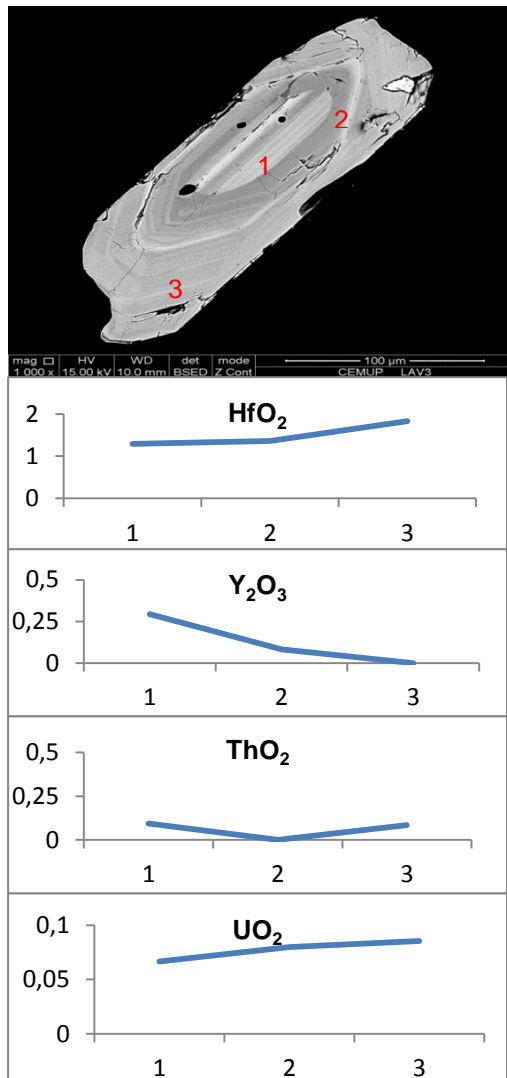


Fig.41. Seleção de zircão do granito de Lavadores. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrônica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.

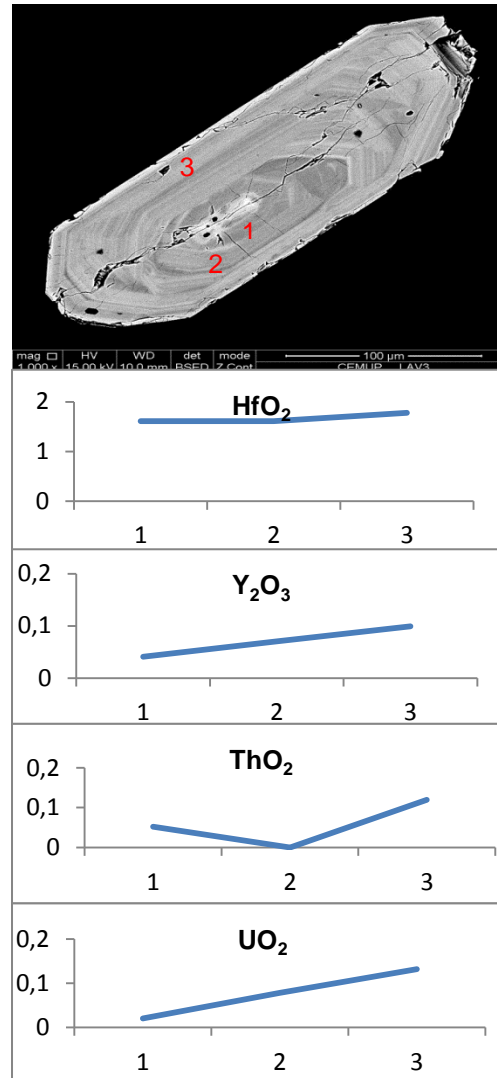




Zircão Z2 LAV3



Zircão Z4 LAV3



Zircão Z1 VM60-30

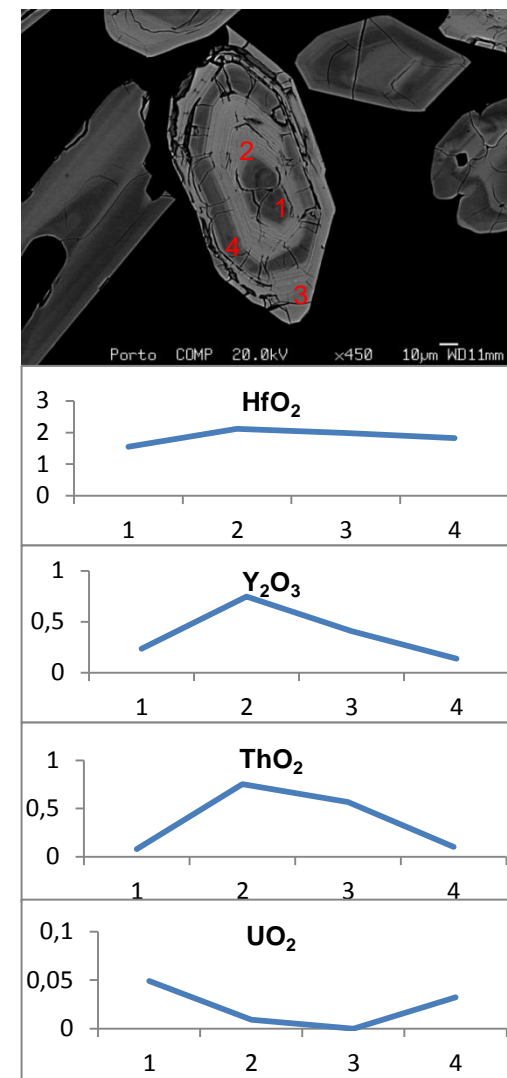
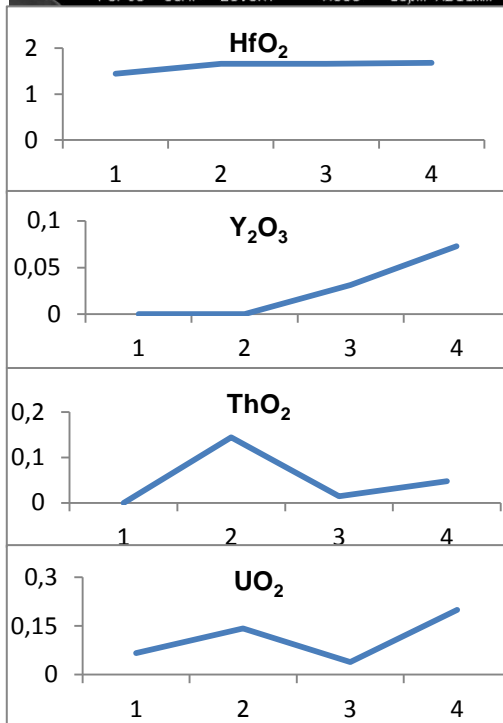
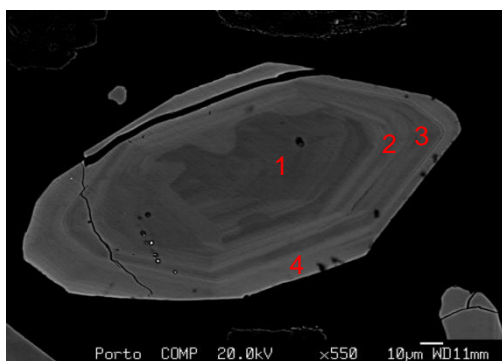


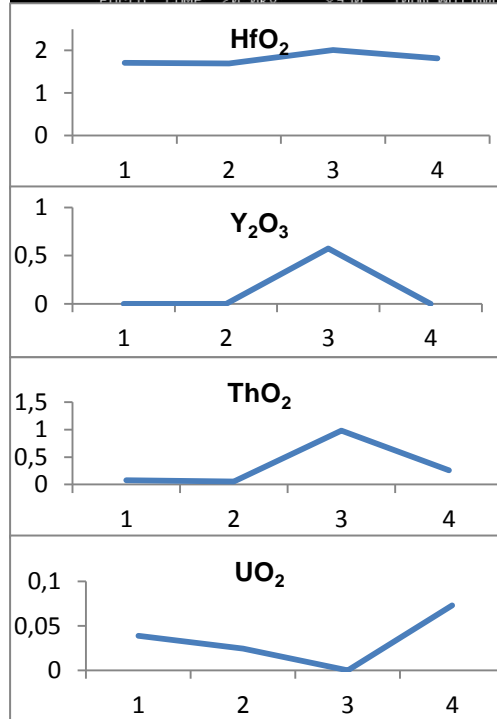
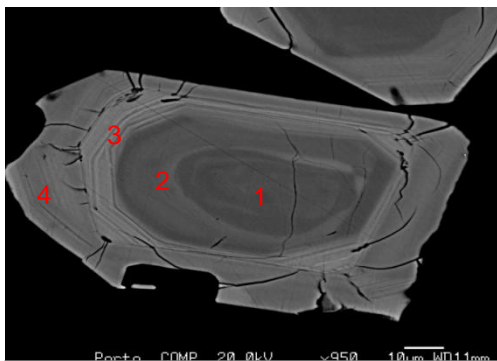
Fig.42. Seleção de zircões dos granitos de Madalena e Vieira do Minho. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrônica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.



Zircão Z5 VM60-30



Zircão Z1 MR6C-29



Zircão Z7 MR6C-29

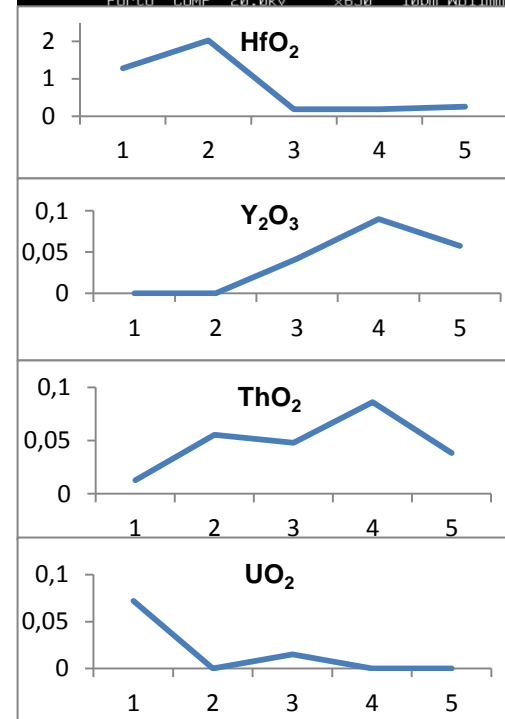
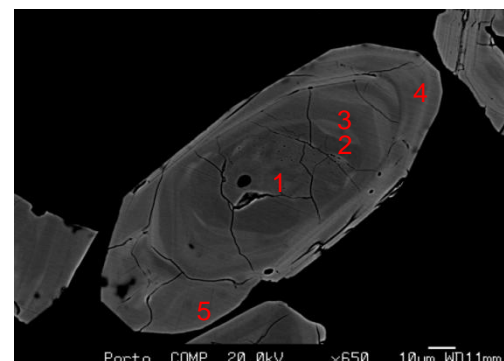
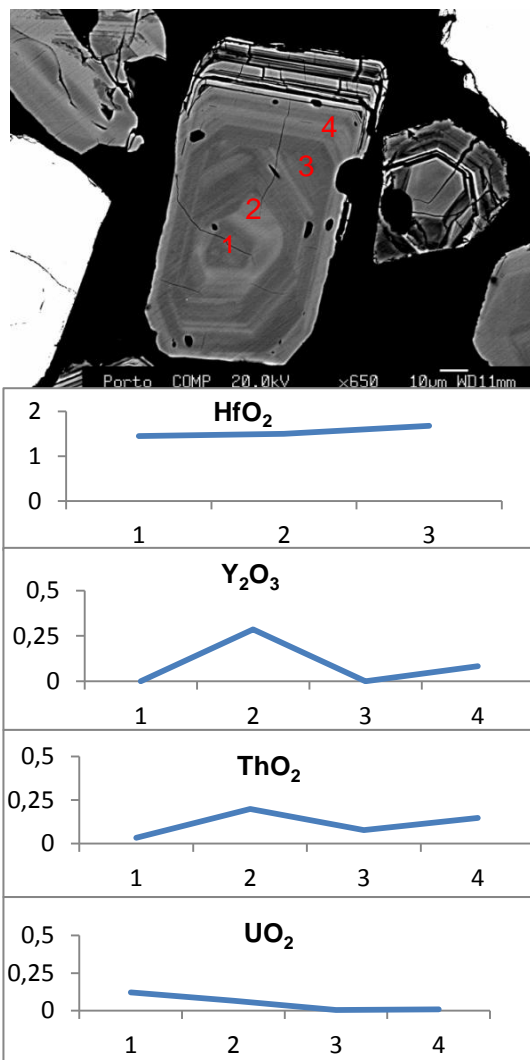


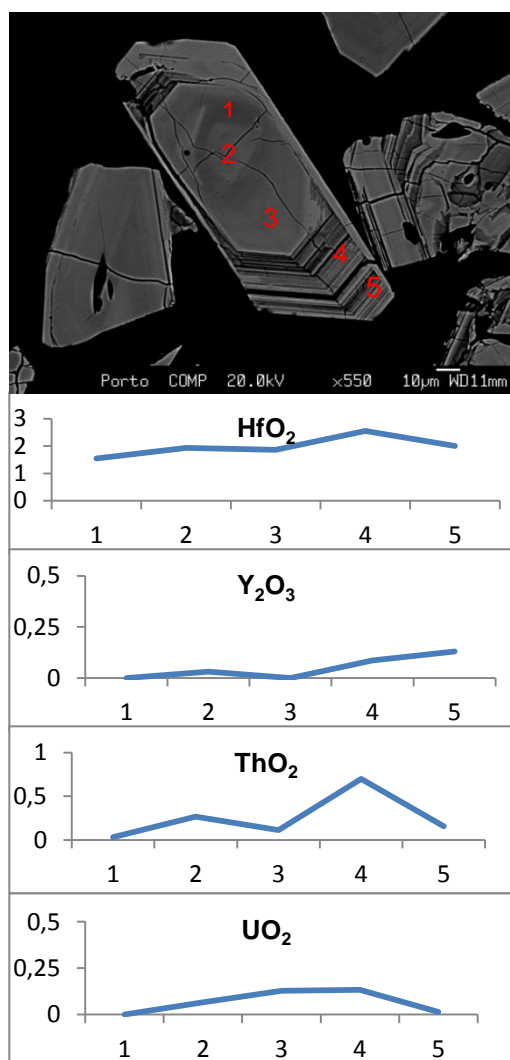
Fig.43. Seleção de zircões dos granitos de Vieira do Minho e Moreira de Rei. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrônica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.



Zircão Z1 VPA60-12



Zircão Z5 VPA60-12



Zircão Z1 PS60-18

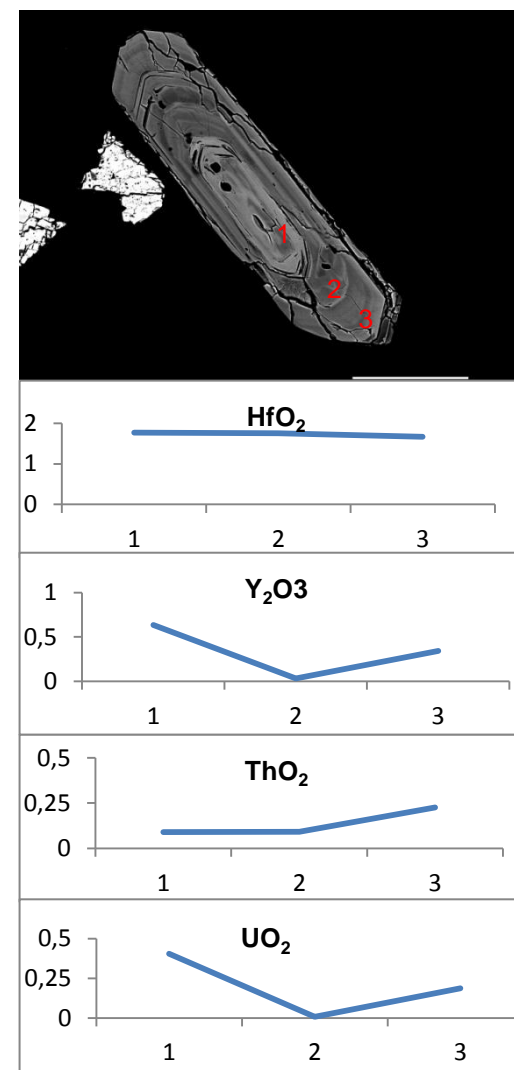
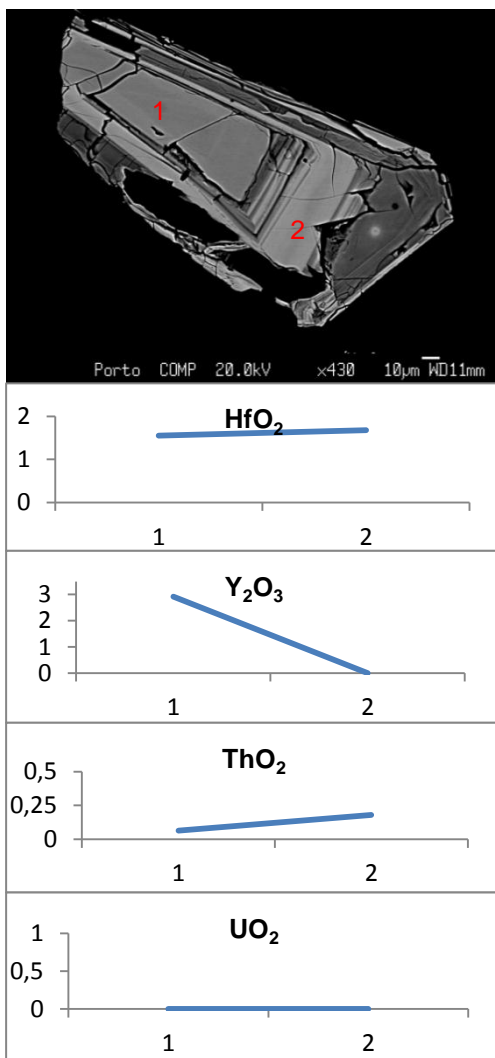


Fig.44. Seleção de zircões dos granitos de Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrônica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.



Zircão Z5 PS60-18



Zircão Z4 PS60-18

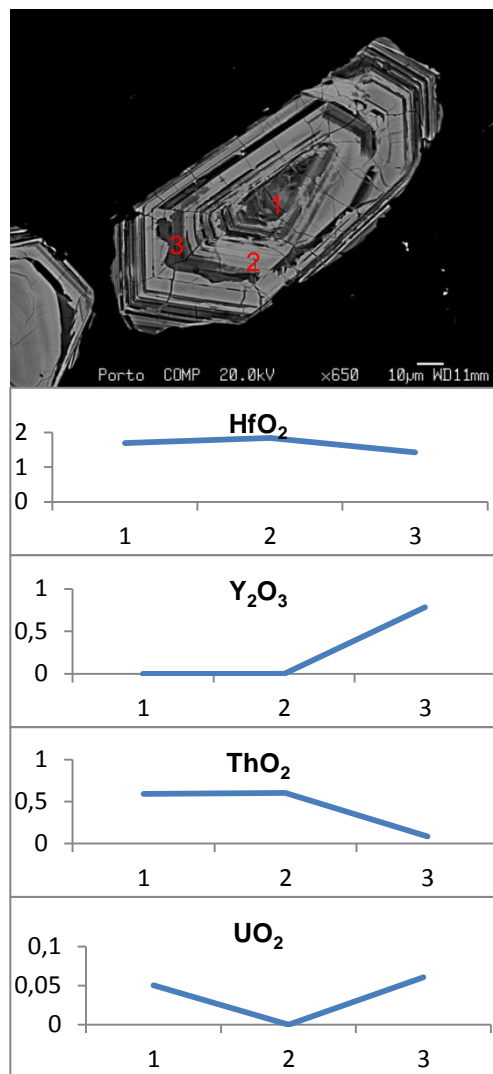


Fig.45. Seleção de zircões do granito de Pedras Salgadas. Número a vermelho corresponde às zonas onde foram analisados os zircões à microsonda eletrónica. Perfis de variação dos elementos Hf, Y, Th e U nos grãos minerais.





### 5.3.3. Relação Zr/Hf

Heaman et al., (1990) consideraram que as mudanças de composição no zircão refletem a relação das mudanças de composição no melt e no grau de cristalização fraccionada. Muitos autores indicaram que a concentração de HfO<sub>2</sub> no zircão é variável, mas este valor varia consoante o grau de evolução e do magma original granítico (Wark & Miller, 1993; Irber et al., 1997; Wang et al., 2000).

Na compilação de composições feitas por Pupin (2000), a assinatura do zircão da crosta continental é marcada por um valor de Zr/Hf no intervalo 36-45 (Fig.49), que difere significativamente do zircão de origem de derivados mantélicos que apresenta valores 60-68 ou mais elevados em derivados básicos. Pérez-Soba et al., (2007) em granitos peraluminosos do Sistema Central Espanhol verificaram uma gama de valores Zr/Hf entre os 36-56 para zircões de assinatura crustal, ligeiramente superiores aos sugeridos por Pupin (2000).

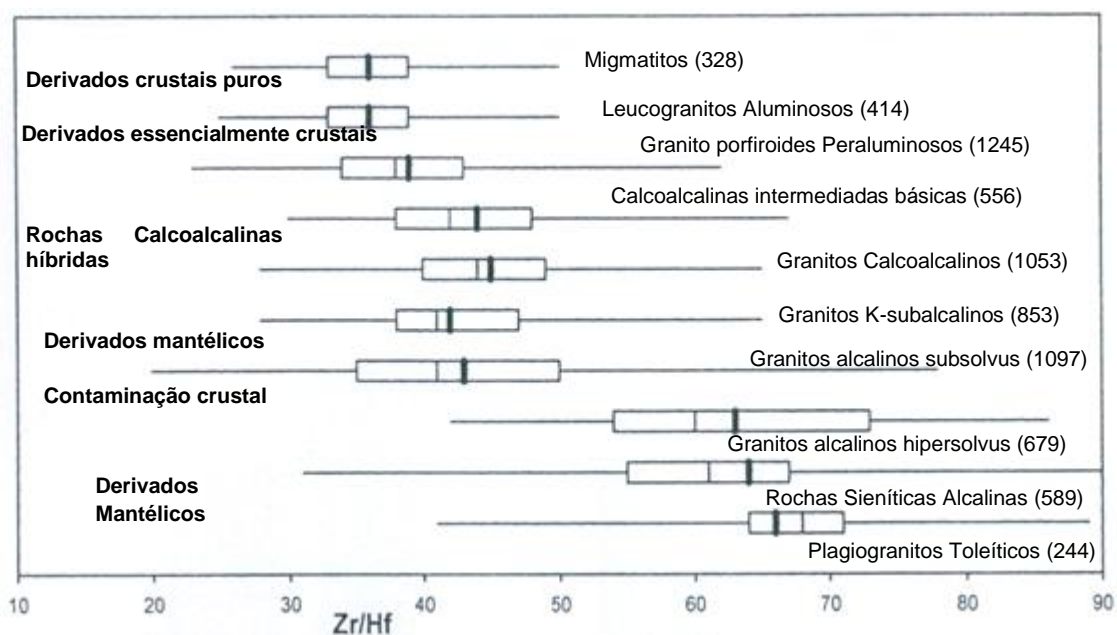


Fig.46. Quadro comparativo dos teores Zr/Hf em zircão de diferentes tipos genéticos (Pupin, 2000 modificado). As caixas correspondem à variação máxima e mínima dos valores de Zr/Hf. A linha fina vertical corresponde à mediana e a linha vertical grossa corresponde à média.

Para os granitos estudados os gráficos que se seguem evidenciam a relação Zr/Hf e em que se pode observar o grau de evolução que estes granitos apresentam. Quanto mais a curva e a sua extensão tende para a direita (enriquecimento em HfO<sub>2</sub>), mais evoluído é o granito (Hoskin & Schaltegger, 2003).

Os gráficos das Figuras 47 mostram que tendencialmente o granito de Lavadores e Madalena apresentam uma relação Zr/Hf idêntica, o que não acontece com o granito do Castelo do Queijo. O granito do Castelo do Queijo apresenta um valor médio de 45,14 para Zr/Hf, no Granito de Lavadores o valor médio é 40,12 e para o granito da Madalena é 39,69.

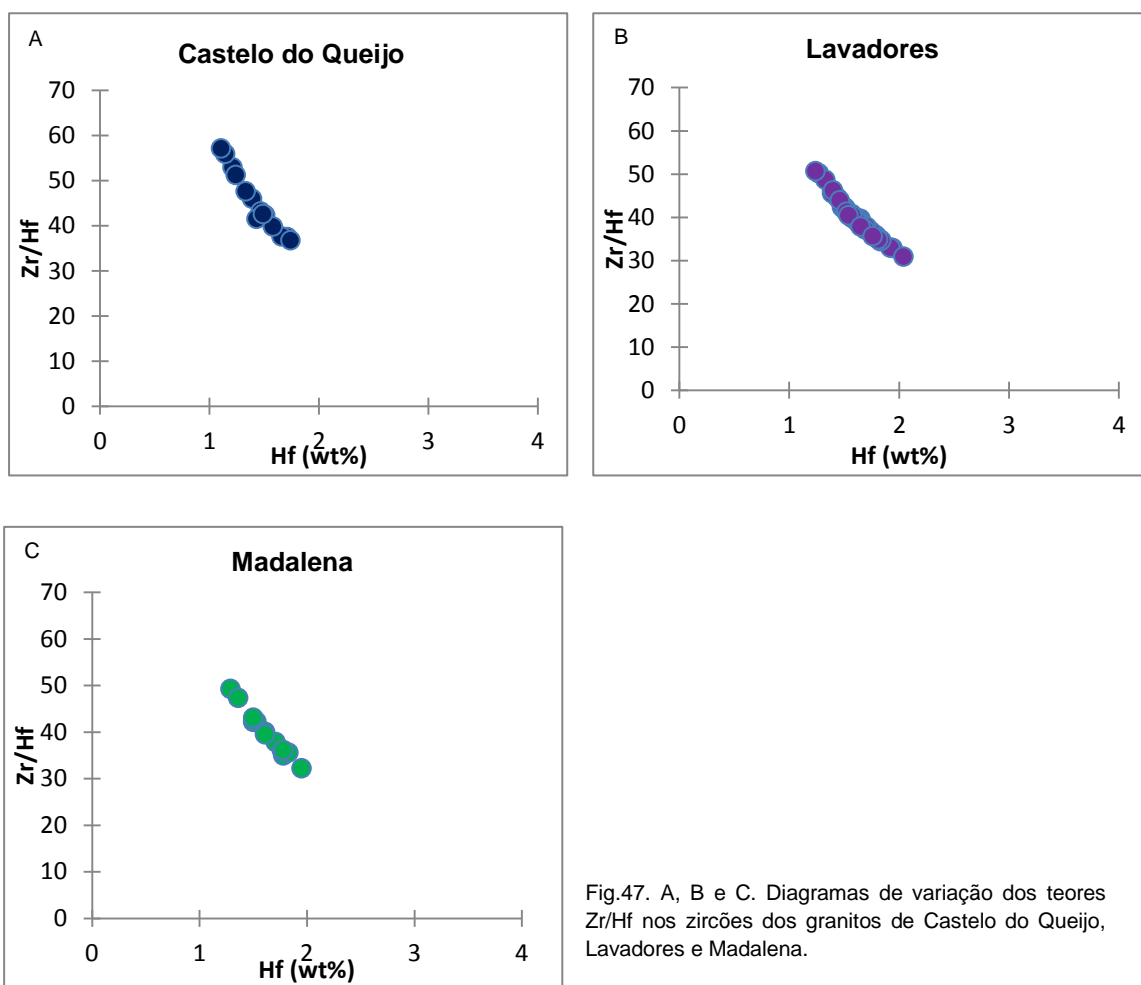


Fig.47. A, B e C. Diagramas de variação dos teores Zr/Hf nos zircões dos granitos de Castelo do Queijo, Lavadores e Madalena.

A relação Zr/Hf entre os dois granitos que fazem parte do Maciço de Vieira do Minho revela que são ambos idênticos (Fig.48). O granito de Vieira do Minho apresenta um valor médio Zr/Hf de 36,36 e o granito de Moreira de Rei um valor médio de 37,38.

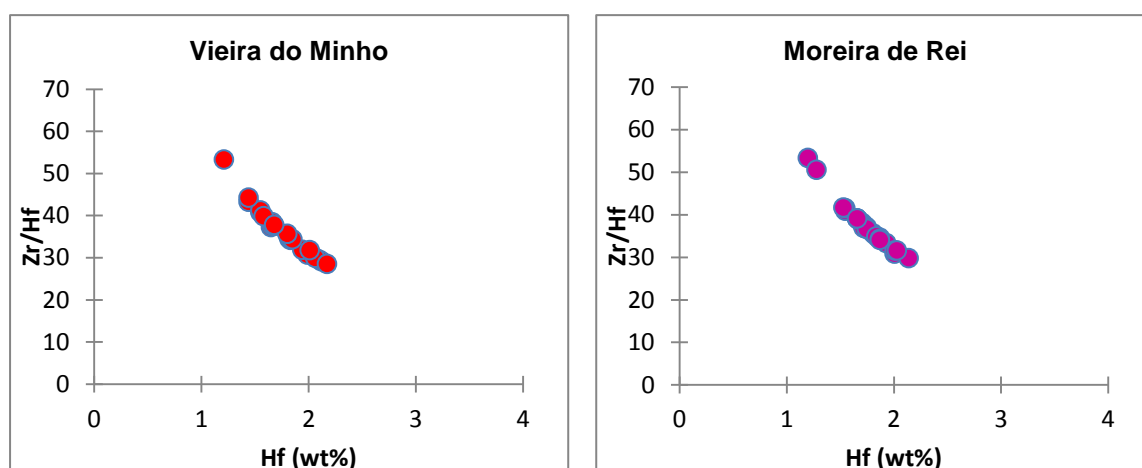


Fig.48. Diagramas de variação dos teores Zr/Hf nos zircões dos granitos de Vieira do Minho e Moreira de Rei.

O maciço granítico de Vila Pouca de Aguiar apresenta tendências homogêneas na relação Zr/Hf para ambos os granitos (Fig.49). O granito de Vila Pouca de Aguiar tem um valor médio de 40,42 e o granito de Pedras Salgadas apresenta o valor 40,69.

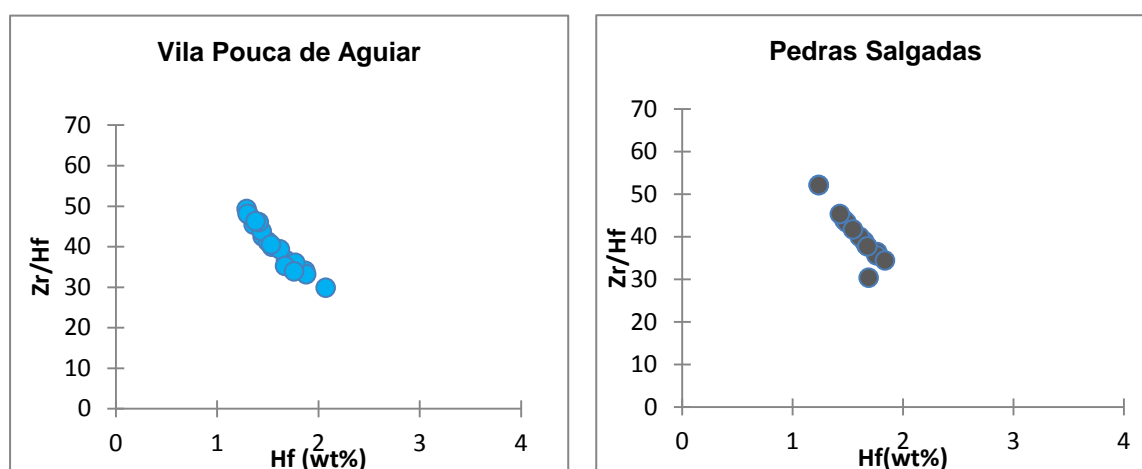


Fig.49. Diagramas de variação dos teores Zr/Hf nos zircões dos granitos Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas



# ***Considerações Finais***

Capítulo 6



---

O estudo geoquímico de zircão dos granitos tardi-tectónicos de Vieira do Minho e Moreira de Rei, e dos granitos pós-tectónicos de Castelo do Queijo, Lavadores, Madalena, Vila Pouca de Aguiar e Pedras Salgadas, permitiu satisfazer algumas dúvidas existentes, nomeadamente sobre as fontes magmáticas que foram sugeridas em publicações anteriores para a génese destes granitos.

### **6.1. Grau de cristalinidade de zircões**

A microsonda Raman forneceu dados sobre o grau de cristalinidade dos grãos de zircões. Segundo os espectros obtidos, os zircões de todos os granitos apresentam dois tipos de cristalinidade. Um tipo mais cristalino, com picos definidos e estreitos, e outro menos cristalino, com picos mais largos a meia altura e a formação de zonas com bandas.

### **6.2. Estrutura interna**

Relativamente à estrutura interna verifica-se que os zircões apresentam na sua maioria formas euédricas a subédricas. Foi possível concluir que estes zircões possuem estruturas internas tipicamente magmáticas, do tipo oscilatório. Observa-se na zona central, um zonamento nebulítico, que normalmente são estruturas difusas podendo apresentar fenómenos de reabsorção de zircão, e um zonamento oscilatório (orlas) ao longo do grão. Este zonamento magmático pode ser fino ou muito expressivo, sendo bem definido e largo. As inclusões observadas na maioria dos cristais de zircão correspondem a cristais de apatite e melt. As variações dos elementos de Hf, Y, Th e U na estrutura interna dos grãos de zircão evidenciam valores de Hf geralmente constante, desde o núcleo para a orla e um enriquecimento de Y, Th e U na zona da orla.

### **6.3. Geoquímica**

O estudo químico dos zonamentos revelou a existência de dois grupos distintos, o grupo dos granitos tardi-tectónicos constituído por o granito de Vieira do Minho e Moreira de Rei e o grupo dos granitos pós tectónicos, constituído pelos

granitos de Castelo do Queijo, Lavadores, Madalena, Vila Pouca Aguiar e Pedras Salgadas.

No grupo de granitos associados á ZCPT verificou-se que para as relações  $\text{HfO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$  e  $\text{UO}_2/\text{ThO}_2$  os três granitos apresentam um comportamento químico semelhante. O facto mais evidente revelou-se na relação  $\text{UO}_2/\text{ThO}_2$  no granito de Lavadores, no qual se evidenciam os valores mais elevados de  $\text{ThO}_2$ .

Os granitos associados á ZCRV apresentam-se semelhantes para a relação  $\text{UO}_2/\text{ThO}_2$ , sendo estes os que se apresentam mais U nas zonas das orlas. A relação  $\text{HfO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$  revela-se relativamente mais elevada na zona das orlas para ambos os granitos.

Os granitos associados á ZFPRV apresentam uma relação  $\text{HfO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$  semelhante, no granito de Vila Pouca de Aguiar verifica-se um domínio de  $\text{Y}_2\text{O}_3$  na fase de orla, enquanto no granito de Pedras Salgadas verifica-se uma distribuição mais equitativa. Relativamente à relação  $\text{UO}_2/\text{ThO}_2$  o granito de Pedras salgadas revela ter valores maiores tanto para o  $\text{UO}_2$  como para o  $\text{ThO}_2$ , comparativamente ao granito de Vila Pouca de Aguiar.

Um estudo geoquímico de zircões em granitos biotíticos sintectónicos associados à ZCVR (Simões, 2000) e no maciço granítico pós-tectónico (Mendes, 2001) revelou no geral teores dos elementos analisados semelhantes aos obtidos nos granitos estudados.

A Figura 50 representa a variação composicional dos elementos analisados em todos os granitos estudados.

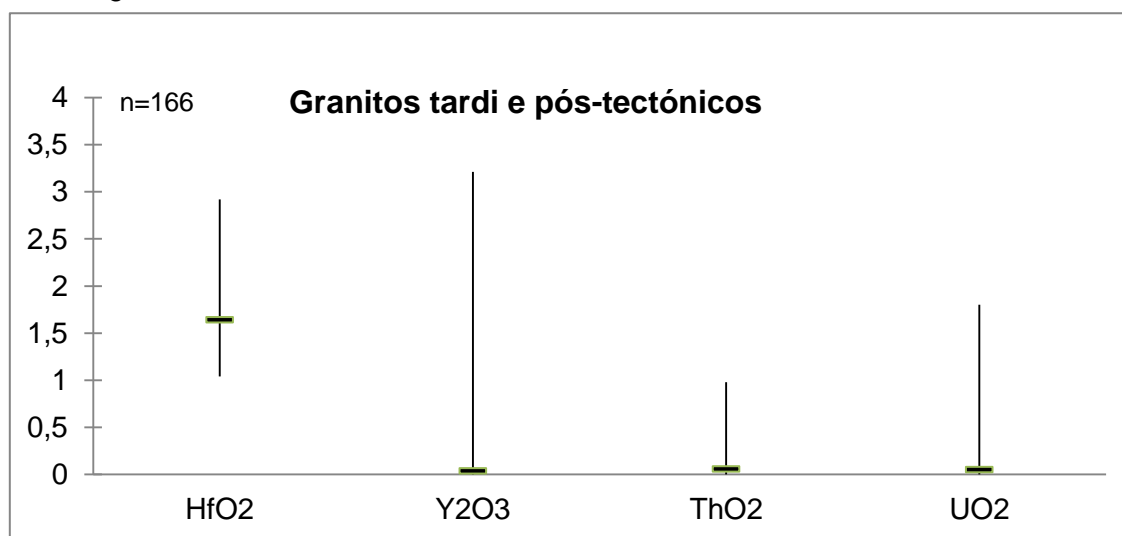


Fig.50. Variação da composição de zircão de granitos peraluminosos do Norte de Portugal. O gráfico mostra a composição do zircão (linha vertical), e a mediana (linha horizontal curta).



Para a relação Zr/Hf as variações são semelhantes dentro de cada grupo de granitos, com exceção do granito de Castelo do Queijo. De modo a obter-se uma melhor compreensão dos granitos em estudo, projetaram-se os valores máximos e mínimos para a relação Zr/Hf e calculou-se a mediana (Fig.51).

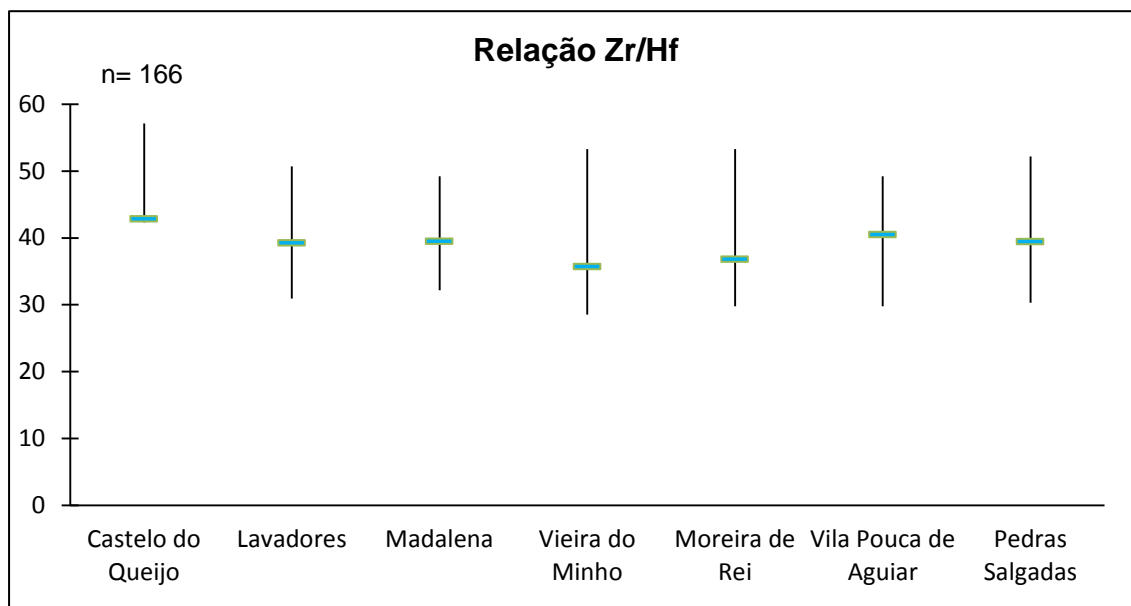


Fig.51. Relação Zr/Hf nos zircões dos diferentes granitos estudados. A variação Zr/Hf é medida na linha vertical e a linha horizontal corresponde à mediana.

O granito de Castelo do Queijo é aquele que mais se distancia tanto do seu “grupo” como de todos os granitos, pois apresenta a mediana mais elevada de todos. O maciço de Vieira do Minho apresenta valores semelhantes para os dois granitos e os valores mais baixos de mediana para a relação Zr/Hf. Os granitos do maciço de Vila Pouca de Aguiar apresentam valores semelhantes aos granitos de Lavadores e Madalena.

#### 6.4. Conclusão

Os dados químicos de zircão para o maciço de Vila Pouca de Aguiar estão de acordo com argumentos geoquímicos isotópicos em trabalhos prévios (Martins et al., 2009), que admitem uma origem fundamentalmente a partir de protólitos da crosta inferior, não excluindo a possibilidade, embora local, de participação de material do manto.

As variações composicionais ao nível do zircão para o maciço de Vieira do Minho indicam fontes puramente crustais tal como admitido por Martins et al., (em publicação).

Para os granitos associados á ZCPT, embora os granitos de Lavadores e Madalena apresentem uma relação Zr/Hf idêntica aos granitos de Vila Pouca de Aguiar, Silva (1995, 2010) assume para estes granitos uma génese fundamentalmente mantélica (com alguma contaminação crustal). Admite também para o granito de Castelo do Queijo a mesma origem, embora os valores de Zr/Hf sejam mais elevados que os anteriores apontam também para fontes da crosta inferior.

Os cristais de zircão apresentam uma relação Zr / Hf que varia entre 29 a 56, sem diferenças significativas entre os diferentes granitos. Estes valores estão na mesma gama de outros granitos peraluminosos (Pérez-Soba et al., 2007) e estão em conformidade com uma assinatura crustal do zircão. O valor em Zr/Hf nos zircões dos granitos estudados sobrepõe-se aos potenciais protólitos propostos para a génese destes granitos peraluminosos (granulitos félsicos), sobretudo para os maciços de Vila Pouca de Aguiar e de Vieira do Minho, ou seja, fontes crustais a diferentes níveis.

Uma geoquímica de zircões mais detalhada, nomeadamente incluindo elementos de terras raras, poderia permitir esclarecer de forma mais plausível a origem dos potenciais protólitos.

## ***Referências Bibliográficas***



- Balda, M.A., Vegas, R., Lodeiro, F.G., 1990. Central Iberian Zone-Autochthonous sequences – Structure. In: Rd., Dalmeyer & Martinez Garcia, Eds, Pré-Mesozoic Geology of Iberia, p.172-188, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bea, F., Montero, P., Ortega, M., 2006. A LA-ICPMS evaluation of Zr reservoirs in common crustal rocks: implications for Zr and Hf geochemistry and zircon-forming processes. *Can Mineral* 44:693–714.
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Fisher, N.I., 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib Mineral. Petrol.*, 143: 602-622.
- Benisek, A., Finger, F., 1993. Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 441-451.
- Chaminé, H., Gama Pereira, I., Fonseca, P.E., Noronha, F., Lemos de Sousa, M.J., 2003. Tectonostratigraphy of the Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar shear zone between Central-Iberian and Ossa-Morena Zones (Iberian Massif, W Portugal). *Cad. Lab. Xeológico de Laxe* 28, 37–78.
- Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Watson, E.B., 1997a. Diffusion of tetravalent cations in zircon. *Contrib Mineral Petrol* 127:383–390.
- Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Watson, E.B., 1997b. Rare-earth diffusion in zircon. *Chem Geol* 134:289–301.
- Chyi, L.L., 1986. Characteristics and genesis of zirconium and hafnium deposits. In: *Mineral parageneses*. Theophrastus Publications SA, Athens, pp 387–408.
- Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O., Kinny, P., 2003. Atlas of zircon textures In: *Zircon* (J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin eds.) *Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem.* 53, 469-500.
- Costa, J. C., Teixeira, C., 1957. Notícia explicativa da folha 9-C, Porto. *Serviços Geológicos de Portugal*.
- Claiborne, L.L., C.F. Miller, B.A. Walker, J.L. Wooden, F.K. Mazdab and Bea, F., 2006. Tracking magmatic processes through Zr/Hf ratios in rocks and Hf and Ti zoning in zircons: An example from the Spirit Mountain batholith, Nevada, *Mineralogical Magazine*, v. 70, no. 5, p. 517-543

- Claiborne, L.L., Miller, C.F., Wooden, J.L., 2010. Trace element composition of igneous zircon: a thermal and compositional record of the accumulation and evolution of a Large silicic batholith, Sipert Mountain, Nevada. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 160: 511-531.
- Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero- Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent?. *Elsevier. Tectonophysics* 246: 113-128.
- Dias, G., Leterrier, J., Mendes, A., Simões, P., Bertrand, J.M., 1998. U-Pb zircon and monazite geochronology of syn- to post-tectonic Hercynian granitoids from the central Iberian Zone (northern Portugal). *Lithos* 45, 349–369.
- Dias, D., Noronha, F., Simões, P.P., Almeida, A., Martins, HCB., Ferreira, N., 2010. Geocronologia e Petrogénese do Plutonismo Tardi-Varisco (NW de Portugal): Síntese e Inferências sobre os Processos de Acreção e Reciclagem Crustal na Zona Centro-Ibérica- In: Cotelo Neiva, J.M., Ribeiro, A., Mendes Victor, Noronha, F., Magalhães Ramalho, (Eds), *Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História*, Vol1, pp. 143-160.
- Ewing, R.C., Meldrum A., Wuang L., Weber, W.J., Corrales L.R., 2003. Radiation effects in zircon. In: *Zircon* (J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin eds.) *Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem.* 53, 387-425.
- Farias, P., Gallastegui, G.N., Lodeiro, F.G., Marquinez, J., Parra, L.M.M., Catalán, J.R.M., Maciá, J.G.P., Fernandez, L.R.R., 1987. Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estructura de Galicia Central. *Mem. Mus. Lab. Min. Geol.* 1: 411-431 (IX Reun. Geol. Oeste Peninsular).
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1987. Granitoides da zona centro ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea et al, Eds, *Geologia de los granitoides y rochas asociadas del macizo hespérico*, p.37-53. Editorial Rueda. Madrid. (Libro de Homenaje a L.C. García de Fuiguerola).
- Guimarães, F., 2008. A microsonda electrónica: fundamentos e aplicações. *GEOlogos* 7, 33-34.
- Heaman, L.M., Bowins, R., Crocket, J. 1990. The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies. *Geochim., Cosmochim. acta* 54, 1597-1607.

- Heaman, L., Parrish, R.R., 1991. U-Pb geochronology of accessory minerals. In: L.Heaman & Ludden, Eds., Short course handbook on applications of radiogenic isotope systems to problems in geology, p.59-102. Mineralogical Association of Canada, Toronto.
- Hoskin, P.W.O., Kinny, P.D., Wyborn, D., Chappell, B.W., 2000. Identifying accessory mineral saturation differentiation in granitoid magmas: an integrated approach. *J. Petrol.* 41, 1365-1396.
- Hoskin, P. & Schaltegger U., 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. In: Zircon (J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin eds.) Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem. 53, 27-62.
- Irber, W., Förster, H.J., Hecht, L., Möller, P., Morteani, G., 1997. Experimental, geochemical, mineralogical and O-isotope constraints on the late-magmatic history of the Fichtelgebirge granites (Germany). *Geol. Rundsch.* 86, Suppl., S110-S124.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A., Conde, L., 1974. Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1 000 000, 113p. Inst. Geol. Y Min. Españã.
- Kinny, P.D, Mass R. 2003. Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in Zircon. In: Zircon (J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin eds.) Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem. 53, 327-341.
- Martins, H.C.B., 1998. Geoquímica e petrogénese de granitos biotíticos tarditectónicos e pós-tectónicos. Implicações metalogénicas. Tese de doutoramento (não publicada), Universidade de Trás-dos-Montes e Alto Douro.
- Martins, H.C.B., Almeida, A., Noronha, F., Leterrier, J., 2001. Novos dados geocronológicos de granitos da região do Porto: granito de Lavadores. Atlas do VI congresso de geoquímica dos países da língua portuguesa e XII semana da geoquímica. Universidade do Algarve, Faro, p.146 – 148.
- Martins, H.C.B., Sant’Óvaia H., Eusébio, N.B., Noronha, F. 2003. Zircon typology and magnetic susceptibility of late Variscan biotite granites in Porto area (Northern Portugal). *Memórias e Notícias 2* (nova série), 7-18.

- Martins, H.C.B., Sant’Ovaia, H., Noronha, F., 2009. Genesis and emplacement of felsic Variscan plutons within a deep crustal lineation, the Penacova-Régua-Verín fault: an integrated geophysics and geochemical study (NW Iberian Peninsula). *Lithos* 111, 142–155.
- Martins, H.C.B., Sant’Ovaia, H., Abreu, J., Oliveira, M., Noronha, F. 2011. Emplacement of the Lavadores granite (NW Portugal): U/Pb and AMS results. *Comptes Rendus Geoscience* :343(6),387-396.
- Martins, H.C.B., Sant’Óvaia, H., Noronha, F., (in publ). Late-Variscan emplacement and genesis of the Vieira do Minho composite pluton, Central Iberian Zone: constraints from U-Pb zircon geochronology, AMS data and Sr-Nd-O isotope geochemistry”. *Lithos*.
- Mendes, A.C., 2001. Geocronologia e petrogénese do Maciço granítico pós-tectónico de Peneda – Gerês (ZCI, Norte de Portugal e Galiza). Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Mendes, A.C., Dias, G., 2004. Mantle-like Sr–Nd isotope composition of Fe–K subalkaline granites: the Peneda-Gerês Variscan massif (NW Iberian Peninsula). *Terra Nova* 16,109–115.
- Murali, A.V., Parthasarathy, R., Mahadevan, T.M., Sankar, Das M., 1983. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments – a case study on Indian zircons *Geochim CosmochimActa* 47:2047–2052.
- Nagasawa, H., 1970. Rare earth concentrations in zircon and apatite and their host dacites and granites. *Earth Planet Sci Lett* 9:359 – 364.
- Noronha, F., Ramos, J.M.F., Rebelo, J.A., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1979. Essai de correlation des phases de déformation hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsular. *Bol.Soc.Geol. Portugal*, 21, 213:227-237.
- Noronha, F., Lima, J., 1992. Carta geológica de Portugal à escala 1: 50 000, folha 6-C, Cabeceiras de Basto. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.
- Noronha, F., Ribeiro, M.A., Martins, H.C.B., Lima, J., 1998. Carta geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 6 – D, Vila Pouca de Aguiar. Instituto geológico e mineiro, Lisboa.



- Noronha, F., Leterrier, J., 2000. Complexo metamórfico da foz do Douro (Porto). Geoquímica e geocronologia. *Revista Real Academia Galega de Ciências* 19, 21–42.
- Oliveira, M., Noronha, F., Lima, A., 2010. Geological mapping at a scale of 1:10 000 of the SW area of the 9C Geological sheet. *Porto. e-Terra* 22 (16), 1–4.
- Parrish, R.R., Nobe, I. S.R., 2003. Zircon U-Th-Pb geochronology by isotope dilution-thermal ionization mass spectrometry (ID-TIMS). In: Zircon (J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin eds.) *Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral. Geochem.* 53, 183-213.
- Pereira, E., 1987. Estudo geológico estrutural da região de Celorico de Bastos e sua interpretação geodinâmica. 244pp. Universidade de Lisboa. Tese de Douturamento.
- Pérez-Soba, C., Villaseca C., González del Tánago J. 2007. The compositions of zircon in the peraluminous hercynian granites of the spanish central system batholith. *The Canadian Mineralogist*, Vol 4, 509-527.
- Prieto, A., Guedes, A., 2008. Espectroscopia micro-Raman: fundamentos e aplicações. *GEOlogos* 7 , 23-26.
- Pupin, J.P., Turco, G., 1972a. Une typologie originale du zircon accessoire. *Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr.*, 95: 348-359.
- Pupin, J.P., 1976. Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. 394pp. Univ. Nice. Thèse de doctorat es Sciences.
- Pupin, J.P., Bonin B., Tessier M., Turco G., 1978., Rôle de l'eau sur les caracteres morphologiques et la cristallisation dans les granitoides. *Bull. Soc. Géol. France*, 20 (5), 721-725.
- PUPIN, J.P., 1988. Granites as indicators in paleogeodynamics. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 43,2: 237-262.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contr. Mineral. Petrol.*, 110: 463-472.
- Pupin, J.P., 1992. Les zircons des granites océaniques et continentaux: couplage typologie-géochimie des éléments en traces. *Bull. Soc. Géol. France*, 163 (4), 495-507.
- Pupin, J.P., 2000. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 254-256.

- Ribeiro, A., 1974. Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. Com. Serv. Geol. Portugal., 24: 114p.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114p.
- Ribeiro, M. A., Martins H.C.B., Almeida, A., Noronha, F., 2001. Notícia explicativa da folha 6-C de Cabeceiras de Basto da Carta geológica de Portugal à escala 1: 50 000. LNEG. Lisboa.
- Sá, C.P.M., 2008. A microscopia electrónica de varrimento (SEM), a microanálise por raios X e a análise de padrões de difracção de electrões retrodifundidos (EBSD): método e potencial no estudo de minerais. GEOlogos 7, 31-32.
- Sant'Ovaia, H., Bouchez, J., Noronha, F., Leblanc, D., Vigneresse, J.L., 2000. Composite laccolith emplacement of the post-tectonic Vila Pouca de Aguiar granite pluton (northern Portugal): a combined AMS and gravity study. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 91, 123-137.
- Sant'Ovaia, H., Ribeiro M.A., Martins H., Noronha, F., 2011. Notícia explicativa da folha 6-D de Vila Pouca de Aguiar da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000. LNEG. Lisboa.
- Silva, M.M.V.G., 1995. Mineralogia, petrologia e geoquímica de encraves de rochas graníticas de algumas regiões portuguesas. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra..
- Silva, M.M.V.G., 2010. O granito de lavadores e os seus encraves. In: Coteló Neiva, J.M., Ribeiro, A., Mendes Victor, Noronha, F., Magalhães Ramalho, (Eds), Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, Vol1, pp. 269-279.
- Simões, P.P., 2000. Instalação, geocronologia e petrogénese de granitóides biotíticos sintectónicos associados ao cisalhamento Vigo-Régua (ZCI, Norte de Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Teixeira, C., Perdigão, J., Assunção, C.T., 1962. Notícia explicativa da folha 13-A, Espinho. Serviços Geológicos de Portugal.
- Teixeira, C., 1970. Aspectos geológicos da orla litoral do Porto e de V. N. Gaia. Naturalia, 10, 1: 13-29.

- Vavra, G., 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 90-99.
- Vavra, G., Gebauer, D., Schmid R., Compston, W., 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122, 337-358.
- Wark, D.A., Miller, C.F., 1993. Accessory mineral behavior during differentiation of a granite suite: monazite, xenotime and zircon in the Sweetwater Wash pluton, southeastern California, USA. *Chem Geol* 110:49–67.
- Watson, E.B., 1979. Zircon saturation in felsic liquids: experimental results and applications to trace element geochemistry. *Contrib. Mineral Petrol* 70:407–419.
- Watson, E.B., Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 64, 295-304.
- Watson, E.B., Cherniak D.J., 1997. Oxygen diffusion in zircon. *Earth Planet Sci Lett* 148:527–544.
- Wang, Ru-Cheng, Zhao, G.T., Lu, J.J., Chen, X.M., Xu, S.J., Wang, D.Z., 2000. Chemistry of Hf-rich zircon from the Laoshan I- and A-type granites, eastern China. *Mineral. Mag.* 64, 867-877.



## ***Anexos***



Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito de Castelo do Queijo (CQ1). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<i>análise</i>									
<b>Z1</b>	1	Núcleo	34,55	63,88	0,0237	1,39	0,1074	0	0,0164
<b>Z1</b>	2	Orla	34,54	64,08	0	1,21	0,1174	0	0,0387
<b>Z1</b>	3	Orla	34,39	64,09	0,089	1,71	0,1936	0,0237	0,1779
<b>Z1</b>	4	Orla	34,49	63,94	0	1,51	0,152	0,0223	0,0798
<b>Z2</b>	8	Núcleo	34,7	63,51	0,0297	1,24	0,1809	0,0253	0,0134
<b>Z2</b>	9	Núcleo	34,62	63,91	0,0474	1,1434	0,2713	0,1027	0,0369
<b>Z2</b>	10	Orla	34,7	62,39	0,0507	1,66	0,1123	0,0401	0,1538
<b>Z2</b>	11	Orla	34,48	62,91	0,0566	1,58	0,184	0	0,0899
<b>Z3</b>	12	Núcleo	34,24	63,93	0,0861	1,74	0,1563	0	0,2308
<b>Z3</b>	13	Núcleo	34,36	63,42	0,427	1,47	0,4092	0,0179	0,0728
<b>Z4</b>	14	Núcleo	34,62	63,32	0,0447	1,33	0,3462	0,0254	0,1354
<b>Z4</b>	15	Orla	33,62	59,33	0,3052	1,43	1,46	0,8757	1,34
<b>Z5</b>	16	Orla	34,46	63,15	0,1221	1,1054	0,406	0,4323	0,276
<b>Z5</b>	17	Orla	34,47	63,39	0,0358	1,49	0,0764	0,0074	0,1438

Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito da Madalena (LAV3). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº análise</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<b>Z1</b>	1	Núcleo	33,96	62,15	0,387	1,78	0	0,0592	0,0198
<b>Z1</b>	2	Orla	34,18	63,19	0,1045	1,5	0,2175	0,0076	0,1273
<b>Z1</b>	3	Orla	34,06	62,74	0,1086	1,95	0	0,1186	0,254
<b>Z2</b>	5	Núcleo	33,72	63,53	0,4653	1,29	0,2938	0,0933	0,0665
<b>Z2</b>	6	Orla	33,15	64,33	0,074	1,36	0,0823	0	0,0799
<b>Z2</b>	7	Núcleo	33,41	65,07	0,0197	1,83	0,0854	0	0,085
<b>Z3</b>	8	Núcleo	33,59	64,68	0,0821	1,71	0,0467	0,0782	0,1144
<b>Z3</b>	9	Orla	32,99	64,57	0	1,53	0,0059	0,0489	0,0787
<b>Z3</b>	10	Orla	33,27	63,6	0,0132	1,77	0,0223	0	0,0467
<b>Z4</b>	11	Núcleo	34,3	64,43	0,1186	1,61	0,0408	0,052	0,0204
<b>Z4</b>	12	Orla	33,61	63,55	0,0961	1,61	0,0706	0	0,0785
<b>Z4</b>	13	Orla	33,62	64,31	0,0457	1,78	0,0994	0,1194	0,1323
<b>Z5</b>	14	Orla	33,11	62,03	0,1467	2,92	0,4953	0,0582	1,24
<b>Z5</b>	15	Orla	33,42	64,54	0,0654	1,5	0	0	0,0869



Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito de Lavadores (LAV5 E LAV99). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº análise</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<b>Z1</b>	1	Núcleo	34,79	65,35	0,0201	1,65	0	0,1319	0,1593
<b>Z1</b>	2	Núcleo	34,56	63,79	0,0202	1,94	0	0,0733	0
<b>Z1</b>	3	Núcleo	34,29	63,96	0,0642	1,57	0,1412	0,1804	0,1593
<b>Z1</b>	4	Orla	34,31	63,54	0,0457	1,67	0	0,1154	0,1303
<b>Z1</b>	5	Orla	34,19	62,94	0,01	1,54	0,007	0,0529	0
<b>Z2</b>	7	Núcleo	34,2	63,73	0,0496	1,51	0	0	1,51
<b>Z2</b>	8	Orla	34,53	63,39	0,0257	1,8	0	0	1,8
<b>Z2</b>	9	Orla	34,02	63,75	0,0255	1,64	0,0602	0,0677	1,64
<b>Z2</b>	10	Orla	34,32	63,34	0,0217	1,49	0	0,0726	1,49
<b>Z3</b>	11	Núcleo	34,21	63,45	0,1125	1,52	0,3541	0,2255	0,2468
<b>Z3</b>	12	Núcleo	34,87	63,8	0,0343	1,67	0	0,0516	0,0725
<b>Z3</b>	13	Orla	34,39	64,14	0,0645	1,6	0,0306	0,1282	0,0726
<b>Z3</b>	14	Orla	34,47	63,81	0,0218	1,81	0	0,0547	0
<b>Z3</b>	15	Orla	34,22	64,13	0,0621	1,44	0,2913	0,2665	0,1456
<b>Z3</b>	16	Orla	34,36	62,63	0,063	1,48	0	0,0382	0,0484
<b>Z3</b>	17	Orla	34,48	63,37	0,0125	1,92	0	0,1447	0,0776
<b>Z3</b>	18	Orla	34,42	64,22	0,0576	1,79	0	0,1273	0
<b>Z4</b>	20	Núcleo	34,21	64,4	0,1409	1,0406	0,3323	0,0681	0,1552
<b>Z4</b>	21	Núcleo	34,51	64,4	0	1,39	0	0,0152	0
<b>Z4</b>	22	Orla	34,3	64,2	0,0529	1,64	0	0,1567	0,1262
<b>Z4</b>	23	Orla	34,5	63,24	0,1465	1,64	0	0,1903	0,1162
<b>Z4</b>	24	Orla	34,2	64,39	0	1,71	0	0,2513	0
<b>Z5</b>	25	Núcleo	34,5	64,1	0,2334	1,63	0,0052	0,0297	0,0618
<b>Z5</b>	26	Núcleo	34,9	64,25	0,0329	1,75	0	0,1144	0,1046
<b>Z6</b>	28	Núcleo	34,4	63,07	0,045	2,04	0	0,0486	0,0947
<b>Z6</b>	29	Núcleo	34,54	63,71	0,0372	1,27	0	0,0454	0
<b>Z7</b>	30	Núcleo	34,89	63,96	0,057	1,7	0,0519	0	0,071
<b>Z7</b>	31	Orla	34,5	63,09	0,1042	1,83	0	0	0,2454
<b>Z7</b>	32	Orla	34,8	62,85	0,0707	1,51	0,1227	0	0,1195
<b>Z7</b>	33	Orla	34,95	63,77	0,09	1,84	0	0	0,1462
<b>Z7</b>	34	Orla	34,84	64,69	0,0744	1,33	0	0	0,0188
<b>Z8</b>	35	Núcleo	34,72	63,35	0,1083	1,39	0	0	0
<b>Z8</b>	36	Orla	34,72	64,75	0,0091	1,4	0	0	0,0619
<b>Z8</b>	37	Orla	34,59	63,23	0,0107	1,81	0	0,1717	0

<b>Z9</b>	38	Núcleo	34,66	64,14	0,0618	1,67	0	0,0309	0
<b>Z9</b>	39	Orla	34,88	64,41	0,0123	1,7	0	0,0703	0,0524
<b>Z9</b>	40	Orla	34,68	64,17	0,0046	1,46	0	0,0859	0,1378
<b>Z9</b>	41	Orla	34,83	62,99	0,1417	1,65	0	0,116	0
<b>Z1</b>	1	Núcleo	34,96	63,05	0	1,59	0,0018	0,0651	0,024
<b>Z1</b>	2	Orla	34,95	63,04	0	1,62	0,0515	0,1446	0
<b>Z2</b>	3	Núcleo	34,98	62,73	0,0269	1,56	0,072	0,1243	0,0373
<b>Z2</b>	4	Orla	34,77	62,69	0	1,52	0,0636	0,202	0,0478
<b>Z3</b>	5	Núcleo	34,58	63,01	3,58	1,56	0,1296	0,059	0,0697
<b>Z3</b>	6	Orla	34,31	62,92	0	1,69	0,1544	0,1964	0,0715
<b>Z3</b>	7	Orla	34,42	63,18	0,0953	1,63	0,0646	0,0195	0
<b>Z3</b>	8	Núcleo	34,6	62,56	0,1936	1,57	0,1835	0	0,0432
<b>Z4</b>	9	Núcleo	34,91	63,48	0	1,57	0,1031	0,0607	0
<b>Z4</b>	10	Núcleo	34,41	62,33	0,0299	1,54	0,2335	0,1727	0,1058
<b>Z4</b>	11	Orla	33,85	62,86	0	1,24	0,0749	0,0682	0,009
<b>Z5</b>	12	Núcleo	34,97	62,5	0,0299	1,65	0,145	0,1946	0,0431
<b>Z5</b>	13	Núcleo	35,02	62,73	0,0746	1,76	0,2397	0,3561	0,0995

Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito Vieira do Minho (VM60-30). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº análise</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<b>Z1</b>	1	Núcleo	33,21	63,17	0,224	1,55	0,2368	0,0788	0,0491
<b>Z1</b>	2	Orla	32,84	61,81	0,7385	2,12	0,7469	0,753	0,0092
<b>Z1</b>	3	Orla	32,77	61,17	0,6062	1,99	0,4092	0,5663	0
<b>Z1</b>	4	Orla	33,47	62,79	0,2116	1,82	0,1394	0,1012	0,0323
<b>Z2</b>	5	Núcleo	33,58	64,51	0,1602	1,21	0,0654	0,0519	0
<b>Z2</b>	6	Orla	33,45	61,99	0,3752	2,1	0,2318	0,1701	0
<b>Z2</b>	7	Orla	33,44	61,81	0,5803	2,06	0,4239	0,3157	0,0092
<b>Z3</b>	8	Núcleo	33,07	62,33	0,0521	1,44	0	0,0949	0,0524
<b>Z3</b>	9	Orla	33,63	63,86	0	1,55	0	0,0584	0,0154
<b>Z4</b>	11	Núcleo	33,15	62,66	0,2561	1,83	1,0832	0,0344	0
<b>Z4</b>	12	Orla	32,44	61,45	0,7366	1,65	3,21	0,3501	0
<b>Z5</b>	13	Núcleo	34,26	63,74	0,1701	1,44	0	0	0,066
<b>Z5</b>	14	Orla	34,18	63,77	0,1703	1,66	0	0,1441	0,1428
<b>Z5</b>	15	Orla	33,78	62,45	0,2288	1,66	0,0312	0,0144	0,0388
<b>Z5</b>	16	Orla	33,66	63,13	0,3593	1,68	0,0728	0,048	0,2
<b>Z6</b>	17	Núcleo	34,49	61,89	0	1,94	0	0,1728	0,0293
<b>Z6</b>	18	Núcleo	34,11	63,08	0,3155	1,83	0,0704	0	0,1285
<b>Z6</b>	19	Orla	33,89	63,63	0,3179	1,85	0	0	0,0771
<b>Z6</b>	20	Orla	33,42	61,97	0,4818	2,17	0,1727	0,0288	0,4425
<b>Z6</b>	21	Orla	34,22	63,87	0,228	2,01	0,0157	0,024	0,1532
<b>Z6</b>	22	Orla	34,17	62,9	0,0819	1,58	0	0,0144	0,0358
<b>Z7</b>	23	Núcleo	34,12	64,23	0,1443	1,8	0	0	0,1261
<b>Z7</b>	24	Núcleo	34,16	63,45	0,1591	1,68	0	0,0192	0,0784

Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito Moreira de Rei (MR6C-29). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº análise</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<b>Z1</b>	1	Núcleo	34,66	64,92	0,3203	1,71	0	0,0765	0,0388
<b>Z1</b>	2	Núcleo	34,54	64,84	0,1355	1,69	0	0,0578	0,0243
<b>Z1</b>	3	Orla	33,67	62,03	0,6177	2,01	0,5747	0,979	0
<b>Z1</b>	4	Orla	34,53	64,35	0,1794	1,81	0	0,2575	0,0729
<b>Z2</b>	5	Núcleo	34,76	64,89	0,1613	1,75	0	0,0538	0
<b>Z2</b>	6	Orla	34,3	63,86	0,3212	1,74	0,0343	0,2521	0
<b>Z2</b>	7	Orla	33,89	63,52	0,3733	1,72	0,1792	0,2382	0,0583
<b>Z3</b>	9	Orla	33,54	64,97	0,2037	1,66	0	0,0817	0
<b>Z3</b>	10	Núcleo	33,89	64,8	0,1102	1,66	0	0,0346	0
<b>Z3</b>	11	Orla	33,8	64,24	0,3229	1,75	0,0386	0,1467	0,0856
<b>Z3</b>	12	Orla	33,89	64,73	0,1612	1,87	0	0,0555	0,0238
<b>Z4</b>	13	Núcleo	34,47	63,98	0,0807	1,2	0,0952	0	0,0143
<b>Z4</b>	14	Núcleo	34,39	64,25	0,2007	1,84	0	0,0547	0,1285
<b>Z4</b>	15	Orla	33,9	63,39	0,227	1,55	0,0979	0,0308	0,0524
<b>Z5</b>	16	Núcleo	34,7	64,32	0,029	1,55	0	0,0323	0
<b>Z5</b>	17	Orla	34,21	64,31	0,2498	1,93	0,031	0,2667	0,0666
<b>Z5</b>	18	Orla	34,43	64,07	0,0994	1,87	0	0,1125	0,1284
<b>Z5</b>	19	Orla	34,14	62,68	0,3428	2,55	0,0858	0,6992	0,1329
<b>Z5</b>	20	Orla	33,86	63,56	0,251	2,01	0,1294	0,1574	0,0143
<b>Z6</b>	21	Núcleo	34,36	63,79	0,1134	1,53	0	0,0443	0,0812
<b>Z6</b>	22	Orla	33,83	63,73	0,2526	2,14	0,0723	0,5511	0,0048
<b>Z6</b>	23	Orla	33,66	63,65	0,4065	1,87	0,3617	0,458	0,0669
<b>Z6</b>	24	Núcleo	33,99	64,95	0,1516	1,66	0	0,0186	0
<b>Z7</b>	31	Núcleo	34,4	64,75	0,023	1,28	0	0,0128	0,0721
<b>Z7</b>	32	Núcleo	34,38	64,15	0,2292	2,03	0	0,0554	0
<b>Z7</b>	33	Orla	34,34	64,44	0,1825	0,1825	0,0421	0,0479	0,0152
<b>Z7</b>	34	Orla	34,23	64,59	0,1852	0,1852	0,0899	0,0863	0
<b>Z7</b>	35	Orla	33,79	63,37	0,2539	0,2539	0,0574	0,0384	0

Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito de Vila Pouca de Aguiar (VP60-12). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº análise</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<b>Z1</b>	1	Núcleo	34,75	61,56	0,184	1,45	0,2855	0,1993	0,066
<b>Z1</b>	2	Núcleo	34,78	61,46	0,07	1,54	0	0,0333	0,1221
<b>Z1</b>	3	Orla	34,89	61,73	0,1406	1,5	0	0,0771	0,0046
<b>Z1</b>	4	Orla	34,57	61,42	0,152	1,68	0,0818	0,1467	0,0094
<b>Z2</b>	5	Núcleo	34,6	63,63	0,06	1,62	0	0	0,0567
<b>Z2</b>	6	Orla	34,28	63,5	0,2438	1,29	0,2995	0,1059	0,1987
<b>Z2</b>	7	Orla	34,73	62,69	0,0395	1,31	0	0,0374	0
<b>Z3</b>	8	Núcleo	34,61	61,64	0,1424	1,36	0,1133	0,1087	0,1792
<b>Z3</b>	9	Núcleo	34,56	63	0,032	1,44	0	0,0402	0
<b>Z3</b>	10	Orla	34,39	63,53	0,1799	1,87	0	0,0883	0
<b>Z3</b>	11	Orla	34,45	61,92	0,2477	1,53	0,0617	0,1256	0,0805
<b>Z4</b>	13	Núcleo	34,63	62,39	0,1514	1,3	0	0,031	0,1236
<b>Z4</b>	14	Núcleo	34,54	61,63	0,2875	2,07	0,1063	0,1619	0,0807
<b>Z4</b>	15	Núcleo	34,35	62,21	0,3861	1,88	0,1321	0,1201	0,1282
<b>Z5</b>	16	Núcleo	34,48	64,77	0,0606	1,41	0	0,0162	0
<b>Z5</b>	17	Núcleo	34,56	63,76	0,0793	1,38	0	0,0483	0,0339
<b>Z5</b>	18	Núcleo	34,48	63,67	0,0405	1,77	0	0,061	0,0291
<b>Z5</b>	19	Orla	30,77	58,74	0,6351	1,67	1,45	0,2724	0
<b>Z5</b>	20	Orla	32,65	59,55	0,46	1,76	0,7367	0,2364	0,1016

Análise química de elementos maiores e traço (%) de Zircões do Granito de Pedras Salgadas (PS60-18). Método analítico: Microsonda Eletrónica (LNEG, Porto)

<b>Zircão</b>	<b>Nº</b>	<b>Fase</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>HfO<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>ThO<sub>2</sub></b>	<b>UO<sub>2</sub></b>
<i>analise</i>									
<b>Z1</b>	6	Núcleo	33,96	64,36	0,1591	1,77	0,636	0,4048	0,0898
<b>Z1</b>	7	Orla	34,07	62,64	0	1,76	0,0325	0,0077	0,0915
<b>Z1</b>	8	Orla	33,65	63,33	0,6266	1,67	0,3421	0,1874	0,2257
<b>Z2</b>	9	Núcleo	34,16	64,46	0,0792	1,47	0,2024	0	0,0907
<b>Z2</b>	10	Núcleo	33,96	64,23	0	1,65	0,2478	0,0124	0,2708
<b>Z3</b>	11	Núcleo	34,15	64,7	0,0914	1,24	0,0124	0	0,0209
<b>Z3</b>	12	Orla	33,99	64,57	0,1395	1,24	0,1817	0	0,0328
<b>Z3</b>	13	Orla	33,94	64,59	0,1038	1,49	0,0337	0,0326	0
<b>Z3</b>	14	Orla	33,95	64,33	0,105	1,61	0,0267	0,0606	0,0426
<b>Z3</b>	15	Orla	28,39	49,78	0,7523	1,9	4,22	0	1,28
<b>Z4</b>	17	Núcleo	27,65	51,24	-	1,69	0	0,0503	0,5908
<b>Z4</b>	18	Orla	33,91	63,29	0,0575	1,84	0	0	0,6034
<b>Z4</b>	19	Orla	33,83	64,77	0,1147	1,43	0,784	0,0608	0,0856
<b>Z4</b>	20	Orla	28,3	51,2	0,7744	1,56	4,03	0,1115	0,454
<b>Z5</b>	21	Núcleo	34,05	64,65	0,1776	1,55	2,92	0	0,0631
<b>Z5</b>	22	Orla	34,01	63,4	0,8687	1,68	0	0	0,1803